

Die Ausnützung der Sonnenenergie
durch das Phytoplankton
eines eutrophen Sees
von Gertrude Bauer

Berichterstatter : 1. Prof.Dr.F.Gessner
2. Prof.Dr.L.Brauner

Tag der mündlichen Prüfung : 5. Juni 1957

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Einleitung	2
I. Untersuchungsgebiet	4
II. Untersuchungsmethoden	4
III. Die assimilatorische Leistung des Phytoplanktons	7
1. Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons	7
2. Die Abhängigkeit der CO ₂ -Assimilation von der Witterung	9
3. Der Energiegewinn des Phytoplanktons in einem Hochsommermonat	12
IV. Das Verhalten des Phytoplanktons in einem abgeschlossenen Wasservolumen	21
1. Einfluß der Flaschengröße	21
2. Assimilation in ruhigem und bewegten Wasser	22
3. Die Bedeutung der Expositionsdauer	25
V. Die Ausnützung der Sonnenenergie zu verschiedenen Jahreszeiten	31
1. Jahreszeitliche Unterschiede	31
2. Jährliche Unterschiede	44
VI. Die Ausnützung im stabil geschichteten See zur Zeit der Sommerstagnation	48
VII. Der Anteil des Nannoplanktons an der Ausnützung der Sonnenenergie	53
VIII. Der Anteil der Bodenflora an der Gesamtenergieausnützung in der Herzogsbucht	56
IX. Diskussion der Ergebnisse	65
Zusammenfassung	72
Literatur	74

E i n l e i t u n g

Unter den Faktoren, die das Ausmaß der Planktonproduktion in den Seen in entscheidender Weise beeinflussen, kommt dem Licht besondere Bedeutung zu; denn das Phytoplankton erzeugt mittels der in das Wasser eindringenden Strahlungsenergie jene organische Substanz, die die Grundlage weiteren Lebens im Wasser bildet.

Seit man in der Limnologie über die Kenntnis des Auftretens und der Verteilung produktionsbiologisch wichtiger Stoffe hinaus tieferen Einblick in die Produktionsverhältnisse verschiedener Seen gewonnen hat, erhob sich die Frage nach der Größe des Energieumsatzes in den Gewässern. Es interessierte vor allem, in welchem Maß die zugestrahlte Sonnenenergie von den pflanzlichen Mikroorganismen ausgenützt wird.

Zur Lösung dieses Problems bediente man sich verschiedener Untersuchungsmethoden. Als erste verwendeten Schomer u. Juday (1935) die Sauerstoffproduktion von Algenkulturen zur Berechnung der Energieausnützung. Für den Mendota-Lake stellte Juday (1940) aus der gesamten im See erzeugten organischen Substanz den Prozentsatz der Ausnützung fest. Manning u. Juday (1941) und Gessner (1948) wählten als Grundlage für ihre Berechnungen Chlorophyllbestimmungen. Zur Untersuchung der Energieverwertung im Meer zog Kalle (1948) den Verbrauch an Phosphor in den oberen Wasserschichten heran. Steemann-Nielsen (1954) prüfte erstmals auf der dänischen Galathea-Expedition mit der Isotopenmethode (^{14}C) die photosynthetische Leistung des marinen Phytoplanktons.

Diese Berechnungen gehen -- ausgenommen jene von Schomer u. Juday (1935) und Steemann-Nielsen (1954) -- nicht von der CO_2 -Assimilation, dem Primärvorgang der Umwandlung der Lichtenenergie in chemische Energie aus, sondern schließen aus anderen meßbaren Größen auf die in der organischen Substanz gebundene Energie.

Da den bisherigen Ergebnissen über den Energieumsatz durch

das Phytoplankton der Gewässer in der Regel nur stichprobenartige Untersuchungen zugrunde liegen, schien es angebracht, durch kurzfristige, über einen größeren Zeitraum verteilte Versuchsserien mit natürlichen Phytoplanktongesellschaften zur Klärung der Ausnützung der Sonnenenergie durch das Phytoplankton eines Süßwassersees beizutragen.

Bei allen Versuchen wurde darnach gestrebt, die natürlichen Umweltbedingungen so wenig wie möglich zu verändern.

Als grundlegende Untersuchungsmethode diente die Ermittlung der Sauerstoffproduktion im See. Die so direkt meßbare Photosynthese wurde in ihren zeitlichen und räumlichen Schwankungen in Abhängigkeit von der Witterung geprüft und ihre Beziehung zum Chlorophyllgehalt festgestellt.

Untersuchungsgebiet war von 1951 - 1954 der Klostersee von Seeon/Chiemgau.

Herrn Professor Dr. Fritz Gessner möchte ich an dieser Stelle für die Überlassung des Themas und das fördernde Interesse, das er meiner Arbeit entgegenbrachte, meinen besonderen Dank aussprechen.

I. Das Untersuchungsgebiet

Die überwiegende Zahl der Versuche wurde in der Herzogsbucht des Klostersees von Seeon/Chiemgau durchgeführt. Der Klostersee ist mit einer Fläche von 46 ha und einer maximalen Tiefe von 15 m das größte Wasserbecken des Seeoner Seengebietes, das seine Entstehung der Konfluenzzone von Inn-u.Chiemseegletscher verdankt.

Im letzten Jahrzehnt hat der Klostersee infolge der dichter Besiedlung seiner Ufer eine zunehmende Eutrophierung erfahren.

Das eigentliche Untersuchungsgebiet, die Herzogsbucht, ist etwa 3,5 ha groß und mißt an der tiefsten Stelle 6,5 m. Der Verlandungsgürtel aus *Phragmites communis* und *Scirpus lacustris* hat die Bucht bis auf einen ca. 30 m breiten und 2 m tiefen Durchlaß vom Hauptbecken abgeschnürt.

Eine eingehende limnologische Charakterisierung dieses Gebietes hat Gessner (1953) gegeben.

II. Die Untersuchungsmethoden

a)

Um die Assimilationsuntersuchungen unter natürlichen Bedingungen durchführen zu können, wurde in der Herzogsbucht in etwa 5m Tiefe eine Boje verankert, an der die Versuchsgefäße zur Feststellung der Assimilationsleistung aufgehängt werden konnten.

Zur Ermittlung der abgeschiedenen Sauerstoffmenge wurde täglich, in der Regel um 8 Uhr morgens, mit dem Ruttner-Wasserschöpfer Seewasser knapp unter der Oberfläche entnommen. Vor der Verteilung in die Versuchsgefäße wurde es in eine 2 L-Flasche gegossen, um durch Vermischung der einzelnen Schöpfproben unter Luftabschluß möglichst gleichartige Ausgangsbedingungen zu schaffen. Erst dann wurden drei 500 ccm-Flaschen gefüllt, von denen zwei locm unter der Wasseroberfläche exponiert wurden, während in der dritten der Sauerstoffgehalt des Wassers (Kontrollwert) sofort mit der Winklermethode (einfache Form - Maucha(1932), Ohle (1953)) bestimmt wurde. In der gleichen Weise wurde mit Wasser aus 2 m und 4 m Tiefe verfahren.

Die gefüllten Flaschen wurden in horizontaler Lage in dieselben Tiefen hinabgesenkt, aus denen die Wasserproben entnommen worden waren. Damit sich die Flaschen nicht berührten oder beschatteten, war an der Unterseite der Boje ein 1m langer Stab angebracht, der

an seinen Enden die Flaschen trug.

Von den beiden im See aufgehängten Flaschen wurde eine zur Bestimmung des Atmungsverlustes mit einer Aluminiumfolie umkleidet. Diese Umhüllung schuf vollkommene Dunkelheit und verhinderte gleichzeitig durch die Reflexion des Lichts eine Temperaturveränderung in der Flasche. Nach 24 Stunden wurden die Flaschen ausgewechselt und mit den Winkler-Reagenzien versetzt. Die titrimetrische Bestimmung des gelösten Sauerstoffs erfolgte im Laboratorium der Biologischen Station "Woltereck" des Bundes Naturschutz, die 1 km vom Klostersee entfernt ist.

Die Sauerstoffmenge, die bei der Assimilation abgegeben wurde, konnte aus der Zunahme des Sauerstoffgehalts in der belichteten Flasche ermittelt werden. Um den Atmungsverlust auszugleichen, wurde zu diesem Wert jene Sauerstoffmenge gezählt, um die der Sauerstoffgehalt in der verdunkelten Flasche abgenommen hatte.

Die Streuung der Sauerstoffwerte in den belichteten und verdunkelten Flaschen lag innerhalb der methodisch bedingten Fehlergrenze ($\pm 0,04$ mg/L), so daß jeweils eine 500 ccm-Flasche für Assimilation und Atmung ausreichte.

b)

Die Registrierung der täglichen Strahlung (Sonnen- u. Himmelsstrahlung) erfolgte durch einen Robitsch-Aktinographen, der auf dem Dach des Laboratoriums aufgestellt war. Es ist anzunehmen, daß bei der geringen Entfernung zwischen dem Strahlungsmesser und der Untersuchungsstelle im See (ca. 1 km) keine wesentlichen Unterschiede in der Strahlungsintensität auftraten, da die Strahlungsverhältnisse über so kurze Strecken hinweg nahezu gleich bleiben.

Der Tagesgang der auf dem Meßstreifen eingezeichneten Strahlung wurde nicht durch Planimetrieren ausgewertet, sondern der Streifen wurde kopiert und die ausgeschnittene Kopie gewogen. Die so erhaltenen Werte wurden zu einem Kontrollwert mit berechneter Kalorienzahl in Beziehung gesetzt. Der Mittelwert betrug für 1 mm $0,105 \text{ cal/cm}^2/\text{min}$.

Die Ergebnisse der Registrierungen sind infolge verschiedener durch die Konstruktion des Aktinographen bedingter Fehlerquellen nicht sehr genau. Zur Feststellung der täglichen Strahlungsmenge, wie sie für die Produktionsberechnungen gebraucht wurde, reichen sie jedoch aus.

Für die Bestimmung des Chlorophyllgehaltes der Plankto-
phyten erfolgte die Wasserentnahme gleichzeitig mit jener zur
Assimilationsuntersuchung. In der Regel reichte aus dem Kloster-
see eine Wassermenge von 1/2 - 2 L zur Erzielung eines hinrei-
chend gefärbten Pigmentauszuges aus. Die Filtration der Wasser-
proben wurde mit einer Steffi-Filterapparatur und methanolunlös-
lichen Cella-Filtern (Porenweite 1,5) durchgeführt. Die Verarbei-
tung des Rückstandes erfolgte in der von Gessner (1944) beschrie-
benen Weise.

Da die Extrakte erst nach 2-3 Tagen, in seltenen Fällen
erst nach 5 Tagen im Bot. Institut München mit dem Zeiß-Pulfrich-
Photometer gemessen werden konnten, wurden sie in der Zwischen-
zeit luftdicht verschlossen und dunkel aufbewahrt. Wie Gessner
(1944) feststellte, sind dunkel aufbewahrte Chlorophyllauszüge
mindestens eine Woche haltbar. Eine chromatographische Trennung
des Chlorophylls in die Komponenten a u. b wurde nicht vorgenom-
men.

III. Die assilatorische Leistung des Phytoplanktons

1. Die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons

Die folgende Zusammenstellung der zur Untersuchungszeit vorhandenen Arten soll nur der Orientierung dienen und gibt daher die Zusammensetzung der Phytoplanktongesellschaft der Herzogsbucht des Klostersees nicht in absoluter Vollständigkeit wieder. Vor allem dürften die Nannoformen in größerer Zahl vorhanden gewesen sein, als Arten beobachtet wurden.

Da im Rahmen dieser Arbeit nur jene Arten interessieren, die infolge ihres massenhaften Auftretens hauptsächlich an der Sauerstoffproduktion beteiligt sind, wurden keine quantitativen Zählungen vorgenommen, sondern die Häufigkeit jeder Art geschätzt. Die 4 Häufigkeitsgrade sind wie folgt angegeben:
massenhaft +++, sehr häufig ++, häufig +, vereinzelt +.

Flagellatae:

Uroglenopsis americana	++
Synura uvella	++
Dinobryon divergens	++++
Dinobryon sociale	+++
Dinobryon cylindricum	++++
Dinobryon stipitatum	++
Cryptomonas erosa	+
Mallomonas caudata	+
Chromulina spec.	+
Trachelomonas volvocina	+
Chlamydomonas spec.	+

Peridineae:

Peridinium cinctum	++++	Peridinium aciculiferum	+
Peridinium volzii	++++	Ceratium hirundinella	++++
Peridinium bipes	++		

Protococcales:

Protococcus botryoides	+
Coelastrum microporum	+
Tetraedron minimum	+
Scenedesmus quadricauda	++
Scenedesmus denticulatus	+
Scenedesmus bijugatus	+
Scenedesmus obliquus	+
Pediastrum Boryanum	++
Pediastrum duplex	+
Pediastrum tetras	+
Ankistrodesmus falcatus	+

Desmidiaceae:

Cosmarium bioculatum	+
Cosmarium abbreviatum	+
Staurastrum gracile	++
Staurastrum cuspidatum	+
Euastrum oblongum	+
Micrasterias crux-melitensis	+
Micrasterias rotata	+

Diatomeae:

Melosira ambigua	+
Cyclotella comta	+
Cyclotella planktonica	+
Fragilaria crotonensis	++
Synedra acus angustiss.	+++
Asterionella formosa	+++
Navicula anglica	+
Cymbella cymbiformis	+
Gomphonema gracile	+
Tabellaria fenestrata	++
Tabellaria flocculosa	+

Cyanophyceae:

Anabaena flos aquae	++	Microcystis aeruginosa	+++
Chroococcus turgidus	+	Merismopedia tenuissima	+
Chroococcus limneticus	+	Aphanothece clathrata	++
Coelosphaerium Kützgianum	++	Lyngbya limnetica	+
Coelosphaerium Naegelianum	+		

2. Die Abhängigkeit der CO₂-Assimilation von der Witterung

Die engen Beziehungen, die zwischen Assimilationsintensität und Sonnenstrahlung bestehen, sind seit zwei Jahrzehnten auch beim Plankton Gegenstand eingehender Untersuchungen. Es wurde jedoch selten allen ökologischen Faktoren Rechnung getragen und mit natürlichem Phytoplankton unter natürlichen Bedingungen gearbeitet. In den meisten Fällen bestimmte man die Assimilationsleistung durch die Sauerstoffzunahme in abgeschlossenen Versuchsgefäßen.

Die ersten Untersuchungen dieser Art wurden mit marinem Phytoplankton von Pütter (1924) durchgeführt. Garder u. Gran (1927) sowie Marshall u. Orr (1928) verwendeten Algenkulturen, die in verschiedene Meerestiefen versenkt wurden. In den Seen Wisconsins untersuchten Schomer und Juday (1935) und Curtis und Juday (1937) mit der gleichen Methode die Abhängigkeit der Assimilationsintensität von der Sonnenstrahlung beim Süßwasserplankton. Es zeigte sich eine Abnahme der Assimilationsleistung in der Oberflächenschicht an klaren Tagen. Das Maximum trat erst in einer Tiefe von 1 - 5 m auf. Als Beobachtungsmaterial dienten Algenkulturen. Die während der Versuchszeit durchgeführte Messung der Strahlung mittels eines Pyrlimnometers gestattete es, die für die Assimilation optimale Strahlungsintensität anzugeben. Steemann-Nielsen (1937) verwendete bei seinen Assimilationsuntersuchungen in der Bucht von Helsingör natürliches Phytoplankton.

Neben der Bestimmung der Sauerstoffzunahme wird vielfach noch ein anderer Weg zur Feststellung der Assimilationsleistung beschritten. Während der Assimilation findet im Wasser eine Abnahme der Gesamtkohlensäure statt. Jede Veränderung des CO₂-Gehalts läßt sich über die damit verbundene Verschiebung der Wasserstoffionenkonzentration verfolgen.

p_H-Messungen zur Ermittlung der Assimilationsintensität führten M.R.G. Atkins (1932) im englischen Kanal, I. Verduin (1951) mit Plankton aus dem Erie-See und Jackson u. Mc Padden (1954) durch.

Die Untersuchungen über die Abhängigkeit der CO₂-Assimilation von der Witterung in der Herzogsbucht des Klostersees im August 1951 dienen als Grundlage für die Berechnung der

Energieausnützung durch das Phytoplankton.

In der Abbildung und der Tabelle 1 sind die Ergebnisse der täglichen Sauerstoffbestimmungen in der Herzogsbucht vom August 1951 zusammengestellt. Wenn wir die Werte der Sauerstoffproduktion der Schwebepflanzen in 0m, 2m und 4m Tiefe betrachten (Abb. 1) und der Kurve der Gesamtstrahlung gegenüberstellen, so zeigt sich, daß zu Beginn des Untersuchungsmonats die Werte der 4m-Kurve am höchsten liegen. Mit einer Sauerstoffmenge von $2,08 \text{ mg/O}_2/\text{L}$ erreichte die Assimilation in dieser Tiefe am 5.8. ihren Höchstwert. Auch die Strahlung erreichte zur selben Zeit ihre größten Intensitäten. Die stetig wechselnden Strahlungsverhältnisse erfuhren mit abnehmender Sonnenhöhe gegen Ende August eine zunehmende Abschwächung.

Jede Veränderung der Wetterlage läßt sich nicht nur an der Strahlungskurve, sondern auch an den Sauerstoffwerten verfolgen. Ein Wetterumschwung ist regelmäßig mit einer Verlagerung der täglichen Sauerstoffhöchstwerte in eine andere Tiefe verbunden. Dies kann ganz plötzlich geschehen, wie es am 10., 11., 13., 17. u. 27. August der Fall war, oder die Verschiebung erfährt eine allmähliche Steigerung, wie die Kurven am 9., 16. und 22. August erkennen lassen.

Besonders auffällig ist der Wechsel in der täglichen maximalen Sauerstoffproduktion zwischen der Oberflächen- und der 2m-Kurve. Während die Sauerstoffwerte in 2m Tiefe fast immer denselben Rhythmus wie die Sonnenstrahlung aufweisen, zeigen die 4m-Werte die ganze Untersuchungszeit hindurch Abweichungen, auf die noch näher eingegangen werden wird.

Eine charakteristische Erscheinung, die schon sehr früh bei Assimilationsversuchen festgestellt wurde und die auch in der Herzogsbucht beobachtet werden konnte, ist die Tatsache, daß mit abnehmender Strahlungsintensität, die meist durch Bewölkung oder Regen bedingt war, eine Zunahme der relativen Assimilation in der Oberflächenschicht des Sees stattfand, die manchmal sogar sprunghaft außerordentlich hohe Werte erreichte. Dagegen sank an diesen Tagen die Sauerstoffproduktion in 2m, meist auch in 4m Tiefe. Die umgekehrten Verhältnisse traten bei starker Sonnenstrahlung, also bei klarem, fast wolkenlosem Himmel auf. An diesen Tagen fand die größte Stoffumsetzung in einer Tiefe um 2m statt, während in den Oberflächenschichten die Assimilations-

tätigkeit viel geringer war als bei bedecktem Himmel.

Die Erklärung für dieses Verhalten finden wir, wenn die Lichtverhältnisse im Wasser in Bezug auf ihre Intensität mit denen des Waldschattens verglichen werden. Die meisten Formen des Phytoplanktons, abgesehen von den wenigen in seichten Tümpeln vorkommenden Arten, sind Schattenpflanzen, die geringe Lichtintensitäten weit besser ausnützen als sehr hohe.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen erkennen, daß zwischen Strahlung und Assimilationsintensität in den verschiedenen Wassertiefen keine lineare Abhängigkeit besteht. Zum gleichen Ziel: stärkste Assimilationstätigkeit an trüben Tagen an der Oberfläche und bei sonnigem Wetter in 2 - 4m Tiefe, führten Untersuchungen verschiedener Forscher, sowohl im Meer als auch im Süßwasser. Erwähnt seien Marshall u. Orr (1928), Schomer u. Juday (1935) und Curtis u. Juday (1937).

An den meisten Schlechtwettertagen war die Strahlung doch noch so stark, daß eine geringe Photosynthese auch in 4 m Tiefe stattfinden konnte. Am 8. August wurde bei einer Gesamtstrahlung von 316 cal/Tag (Tab.3) in 4m Tiefe der Kompensationspunkt erreicht. An diesem Tag entsprach der Sauerstoffgehalt der belichteten Flasche dem Kontrollwert (Tab.1). Die Sauerstoffproduktion durch die Assimilation war gerade so groß, um der Atmung zu genügen.

Die schwächste Strahlung wies der 22. August mit 312,69 cal/Tag auf. Diese Strahlungssumme enthält zwar nur 4 cal weniger als diejenige vom 8., doch fand in 4m überhaupt keine Assimilation mehr statt, während an der Oberfläche gerade der Kompensationspunkt erreicht wurde.

Wie schon erwähnt, zeigt die 4m-Kurve in ihrem Verlauf ein von den Werten der darüber liegenden Wasserschichten abweichendes Verhalten. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß die Lichtfilterwirkung des Wassers mit zunehmender Tiefe größer wird. Die Unregelmäßigkeiten dieser Kurve haben jedoch noch eine andere Ursache. Die Herzogsbucht ist an der Untersuchungsstelle zwar 5,30 m tief, der Grund wird aber von einer etwa 60 cm dicken flockigen Schlammschicht bedeckt. Man wird daher nicht fehl gehen, wenn man den eigentümlichen Verlauf der 4m-Kurve auf Einflüsse aus dieser Schlammschicht zurückführt.

Wie aus Untersuchungen Weimanns (1935) hervorgeht, halten sich gerade in dieser Zone oberhalb der Schlamm-Wasser-Grenzfläche vielfach farblose Flagellaten und Ciliaten auf, die den Wert der Sauerstoffzehrung erheblich vergrößern. Die Sauerstoffmenge, die das Zooplankton veratmet, ist auch in anderen Wasserschichten eine kaum erfassbare Fehlerquelle, die jedoch für die allgemeine Verteilung des Sauerstoffs keine ausschlaggebende Bedeutung hat.

Die kleine Wassermenge, die sich während des Versuchs in einer Flasche befindet, ist abgeschlossen von den übrigen Wassermassen des Sees und den Veränderungen, die Wetter, Wasserströmungen und die Lebenstätigkeit der Organismen während der 24-stündigen Expositionsdauer im freien Wasser herbeiführen. In diese gewähren die Kontrollwerte beschränkten Einblick. (Tab.1, S.17). Sie wurden täglich durch Bestimmung des Sauerstoffgehalts der Schöpfproben ermittelt.

Nach einer Abnahme des im Wasser gelösten Sauerstoffs durch eine Wetterverschlechterung erfolgte die Regeneration im freien Wasser nicht sprunghaft, sondern ganz allmählich. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß eine Veränderung des Sauerstoffgehalts nach oben oder unten gegenüber der sie in der Regel auslösenden Strahlungsintensität meist um einen Tag verschoben ist. Sie ist kein Beweis dafür, daß die einzelnen die Sauerstoffbilanz bestimmenden Faktoren mindestens 24 Stunden benötigen, um auf eine Änderung der Lichtverhältnisse anzusprechen, denn infolge der 24-stündigen Versuchsdauer läßt sich der Zeitpunkt, an dem sich der Witterungsumschlag im freien Wasser auszuwirken beginnt, nicht angeben.

Die Kontrollwerte lassen jedoch erkennen, wie rasch das Phytoplankton auf veränderte Umweltbedingungen reagiert und dadurch neben physikalischen Faktoren eine Veränderung des Sauerstoffgehalts im Wasser herbeiführt.

3. Der Energiegewinn des Phytoplanktons in einem Hochsommermonat

Neben der Ermittlung der Assimilationsleistung und der Prüfung der Beziehungen zwischen Phytoplanktonassimilation und Witterung, hatten die Untersuchungen in der Herzogsbucht im

August 1951 vor allem die Frage zu klären, in welchem Maß hier das Phytoplankton imstande ist, die Sonnenenergie bei der Photosynthese auszunützen.

Wird auf dem Land eine bestimmte Bodenfläche abgeerntet, so kann die im Laufe der Vegetationsperiode gebildete organische Substanz in Form der Pflanzenmasse erfaßt werden. Diese entspricht jedoch nicht der gesamten aufgenommenen und verwerteten Sonnenenergie, da die Pflanze inzwischen einen Teil der mit Hilfe des Lichtes aufgebauten Kohlehydrate veratmet hat, um daraus die Energie für die Aufrechterhaltung des Betriebsstoffwechsels zu gewinnen. Das Endergebnis der Assimilation wird daher immer geringer sein als der Wert der tatsächlich stattgefundenen Produktion.

Im Wasser gestaltet sich die Bestimmung sowohl der "absoluten" als auch der "effektiven" Produktion durch die geringe Größe und die Kurzlebigkeit des Phytoplanktons viel ungünstiger. Um die Planktonproduktion in Seen festzustellen, mißt man die assimilatorische Leistung des Phytoplanktons mit Hilfe der bereits angeführten Methoden: Ermittlung der durch die Assimilation bedingten Veränderungen des Sauerstoffgehalts und der Wasserstoffionenkonzentration. Weiter wird auch der Chlorophyllgehalt des Planktons als Maß für die Produktion herangezogen (Kozminski 1938, Gessner 1944).

Bei den Untersuchungen in der Herzogsbucht des Klostersees diente die Sauerstoffabgabe während der Assimilation zur Feststellung der Assimilationsleistung des Phytoplanktons. Aus den Assimilationswerten in 0m, 2m und 4m Tiefe wurde die photosynthetische Leistung unter 1cm^2 Wasserfläche und einer Wassersäule von 4,5m berechnet. Die Sauerstoffwerte wurden entsprechend dem Assimilationsquotienten $\text{CO}_2/\text{O}_2 = 1$ in mg CO_2 umgerechnet. Die tägliche Assimilationsleistung des Phytoplanktons im August 1951 schwankte zwischen $0,176\text{ mg/cm}^2$ und $0,932\text{ mg/cm}^2\text{CO}_2$. Im ganzen Monat sind $20,7\text{ mg/cm}^2$ oder 207 g CO_2 unter 1m^2 zum Aufbau organischer Substanz verwendet worden. (Tab.2, Abb.2). Wir dürfen jedoch nicht erwarten, daß diese Menge, abgesehen von dem durch die Atmung verlorengegangenen Teil, am Ende des Monats noch vorhanden war, denn die Produktion im Wasser ist einem ständigen raschen Wechsel von Aufbau und Abbau unter-

worfen. Die Stoffe, die in der organischen Substanz gebunden sind, kehren nach einiger Zeit wieder in ihre mineralische Grundform zurück, während die in den organischen Verbindungen gebundene chemische Energie bei deren Abbau als Wärme verlorengeht.

Über die Lebensdauer des Phytoplanktons ist nicht viel bekannt, doch es ist anzunehmen, daß sie nicht mehr als Stunden bis Tage beträgt (Grim 1939). In dieser kurzen Zeitspanne verläuft der Lebenszyklus der Planktonalgen, die hernach der Mineralisation anheimfallen oder als Nahrung dienen.

Die Geschwindigkeit, mit der die Neubildung organischer Substanz oder die Vermehrung des Phytoplanktons erfolgt, ist abhängig von der Temperatur, der Lichtintensität, den im Wasser gelösten Stoffen und von biologischen Faktoren.

Zur Assimilation von 1 mg CO_2 sind 2,553 cal nötig. Die tägliche bei der Photosynthese verbrauchte Energiemenge wurde nun zu der Strahlung in Beziehung gesetzt, die während dieser Zeit auf die Wasseroberfläche auftraf und durch den Aktinographen registriert wurde. Am 1. August 1951 betrug die assimilierte CO_2 -Menge, 0,605 mg/cm². Jhr entspricht ein Energiewert von 1,5341 cal. Die Gesamtstrahlung war an diesem Tag sehr kräftig und erreichte 1222,27 cal/cm²/24^h, so daß sich aus diesen Werten am 1.8.1951 eine Ausnützung von 1,26 ‰ ergibt (Tab.2, Abb.2).

Wie sich Assimilation, Gesamtstrahlung und Ausnützung zueinander verhalten, gibt die graphische Darstellung (Abb.2) wieder. Die 3 Kurven gewähren eine gute Übersicht über die Energieverwertung des Phytoplanktons zur Untersuchungszeit. Es zeigt sich, daß die beste Ausnützung nicht an Tagen mit hoher Strahlungsintensität stattfand, sondern daß die Maximalwerte bei trübem Wetter erreicht wurden. Ganz eindeutig ist dies am 4., 9. und 16. August der Fall. Auf das Assimilationsminimum am 22.8.1951 wurde schon im vorhergehenden Abschnitt hingewiesen. Das Ausmaß der verwerteten Energie schwankt zwischen 1,26 ‰ und 4,25 ‰, doch sind die Höchstwerte von 3,5 ‰ - 4,25 ‰ sehr selten. Auch dieses Verhalten ist für das Phytoplankton als Vertreter einer Schattenflora bezeichnend.

Die Werte der Ausnützung, wie sie in der Kurve wiedergegeben sind, erreichen im Mittel 2⁰/oo. Nur an trüben Tagen liegen sie darüber, da geringere Energiemengen unter der Wasseroberfläche besser ausgenützt werden als sehr hohe.

Die quantitativen und qualitativen Veränderungen, die die Strahlung beim Eindringen in das Wasser erfährt, geben für den geringen Prozentsatz der Ausnützung in der Herzogsbucht im August 1951 keineswegs eine ausreichende Erklärung, denn Gessner (1949) und Juday (1940) berechneten z.B. für den Weißlinger See und den Mendota-Lake eine durchschnittliche Ausnützung von 0,5 - 1 %. Zur Erhärtung der Ergebnisse wurden deshalb die Chlorophyllmengen, die zur Untersuchungszeit in der Herzogsbucht festgestellt wurden, mit jenen aus dem Weißlinger See verglichen, die Gessner (1949) als Grundlage für die Berechnung der Energieausnützung dienten.

Neben der zur Assimilation verbrauchten CO₂-Menge gilt auch der Chlorophyllgehalt einer bestimmten Wassermenge als Maß für die Phytoplanktonproduktion (Kozminski 1938, Handke 1941, Manning und Juday 1941, Gessner 1944).

Im August 1951 (Gessner 1953) befand sich in der Herzogsbucht unter 1m² Wasserfläche 163 mg Chlorophyll, das ist etwa 4,5 - 5 mal weniger als im Weißlinger See. Das gleiche Verhältnis ergibt sich für die Ausnützung, so daß die voneinander abweichenden Ausnützungswerte der beiden Seen auf den verschiedenen Phytoplanktongehalt zurückzuführen sind, da vor allem die epilimnischen Chlorophyllmengen mit Ausnahme der Wintermonate der Phytoplanktonmasse proportional sind (Gessner 1944).

Die Ursache des geringen Phytoplanktongehalts der Herzogsbucht ist darin zu suchen, daß dieses kleine Seebecken während der ganzen Untersuchungszeit durch die tiefe Lage der Sprungschicht (7m) im Klostersee von der Zufuhr nährstoffreichen Tiefenwassers abgeschnitten war, denn über die Barriere in 2m Tiefe, die die Bucht vom übrigen See trennt, konnten nur die Wassermassen des während der Sommerstagnation an Nährstoffen verarmten Epilimnions ausgetauscht werden. Ein Nährstofftransport vom Grund der Herzogsbucht in die darüber liegenden Wassermassen wurde durch die Temperaturschichtung verhindert. Vom Litoral können zwar regenerierte Mineralien in das freie Wasser

diffundieren, sie verändern jedoch den Trophiegrad nur wenig. So wirkt sich die allgemeine Verarmung des Wassers an Nährstoffen gegen Ende des Sommers hier deutlich im Phytoplanktongehalt aus.

Es ist noch zu erwähnen, daß bei der täglichen Messung der Strahlung mit dem Robitsch-Aktinographen der Strahlungsverlust, der durch das Instrument hervorgerufen wird, nicht berücksichtigt wurde, so daß die täglichen Energiewerte etwas zu hoch angesetzt sind. Bei der Berechnung der Ausnützung macht sich dieser Strahlungsverlust von 10-15 % nur in den Kommastellen bemerkbar (bei ‰).

Über die Untersuchung der assimilatorischen Leistung des Phytoplanktons der Herzogsbucht läßt sich zusammenfassend feststellen, daß diese natürliche Pflanzengesellschaft das gleiche Verhalten gegenüber wechselnden Strahlungsverhältnissen zeigt, wie die auf S.12 erwähnten Versuche mit verschiedenen Algenkulturen: stärkste Assimilation fand an trüben Tagen an der Oberfläche, bei klarem Wetter mit hohen Strahlungsintensitäten in tieferen Wasserschichten, hauptsächlich in 2m Tiefe statt. Die örtlichen Gegebenheiten der Herzogsbucht bedingen in 4 m Tiefe einige Abweichungen der Versuchsergebnisse vom normalen Assimilationsgeschehen der übrigen Wasserschichten.

Die tägliche photosynthetische Leistung des Phytoplanktons bewegt sich zwischen $0,176 \text{ mg/cm}^2$ u. $0,932 \text{ mg/cm}^2 \text{ CO}_2$. Dem entspricht ein durchschnittlicher Energiegewinn von 2‰ . Die gesamte während der Untersuchungszeit in organische Substanz umgesetzte CO_2 -Menge betrug $20,7 \text{ mg/cm}^2$.

Die verhältnismäßig geringe Planktonproduktion hängt ursächlich mit der Planktondichte des Untersuchungsgebietes zusammen, das während der Sommermonate stark an Nährstoffen verarmt.

Abb. 1: Strahlung und Gesamtassimilation in den einzelnen Tiefen

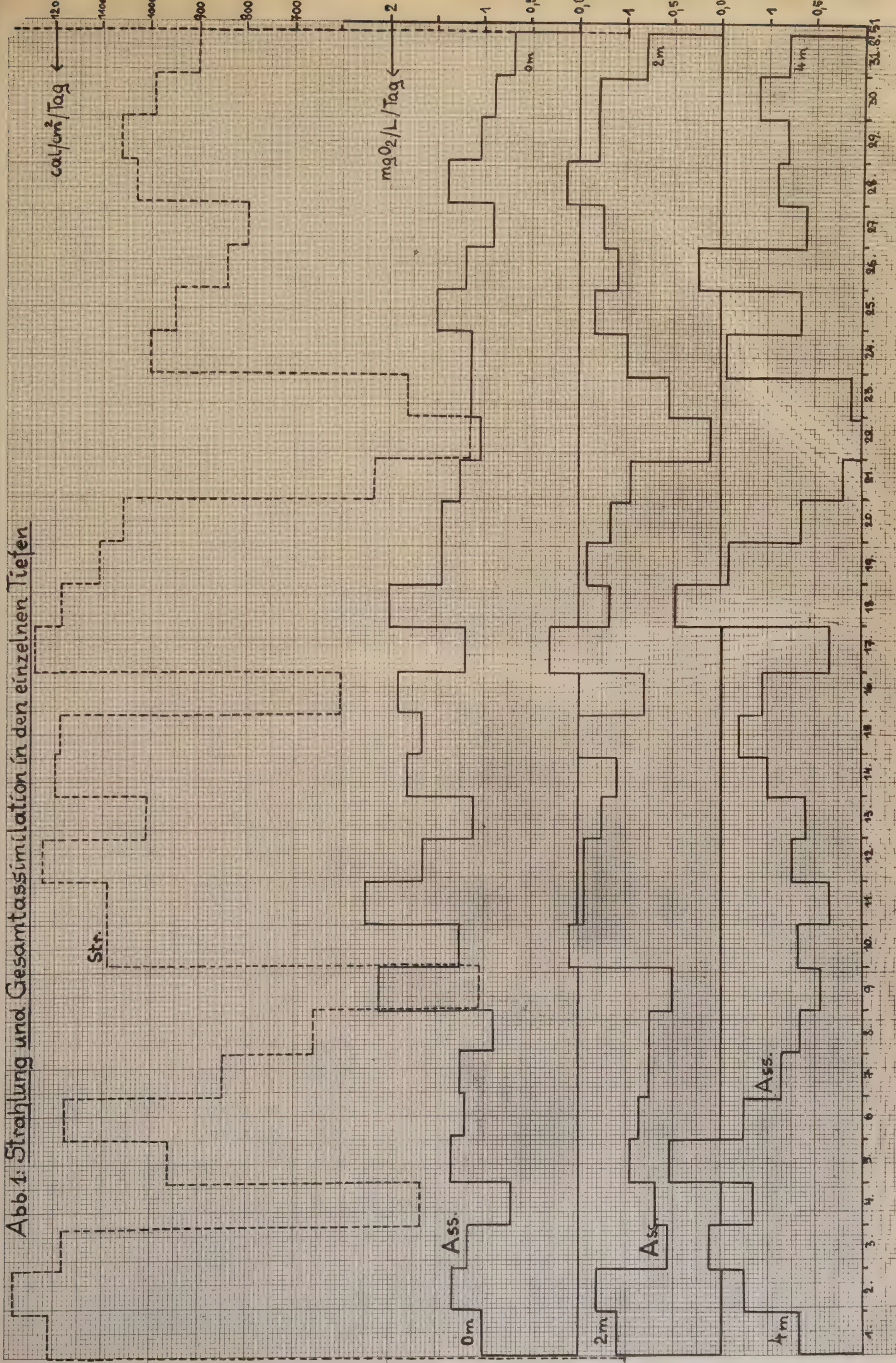


Tabelle 1

Sauerstoffproduktion in 0m, 2m und 4m Tiefe in O₂ mg/L

Datum 1951	O ₂ mg/L in 0m			O ₂ mg/L in 2m			O ₂ mg/L in 4m		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
31.7.- 1.8.	8,56	8,88	7,84	9,28	9,54	8,40	6,24	6,80	6,08
2.8.- 3.8.	9,04	9,36	8,00	9,36	9,44	8,08	6,32	7,84	6,08
3.8.- 4.8.	8,40	8,56	7,36	10,24	10,48	9,84	7,12	8,24	6,56
4.8.- 5.8.	8,40	7,52	6,72	9,92	8,96	8,16	6,80	5,60	4,40
5.8.- 6.8.	8,08	8,48	7,12	8,16	8,64	7,68	6,64	4,72	2,64
6.8.- 7.8.	8,16	8,84	7,64	7,84	7,96	7,04	5,64	5,84	4,56
7.8.- 8.8.	7,95	8,56	7,28	7,84	7,80	7,04	4,56	5,20	4,32
8.8.- 9.8.	7,64	8,04	7,12	7,68	7,48	6,72	5,28	5,28	4,64
9.8.- 10.8.	6,96	7,68	6,10	7,20	6,88	6,36	3,68	3,20	2,76
10.8.- 11.8.	6,08	6,56	5,32	6,32	6,84	5,20	5,72	5,88	5,20
11.8.- 12.8.	5,92	7,08	4,80	6,20	6,72	5,24	4,88	4,84	4,56
12.8.- 13.8.	6,48	7,56	5,92	6,52	7,24	5,76	5,92	6,40	5,86
13.8.- 14.8.	7,28	8,56	6,88	7,60	8,04	6,76	5,76	5,36	4,72
14.8.- 15.8.	7,60	8,52	6,72	7,60	7,92	6,80	4,08	4,16	3,20
15.8.- 16.8.	7,24	8,32	6,44	7,44	8,00	6,48	5,24	6,12	4,88
16.8.- 17.8.	7,58	8,72	6,80	7,72	7,48	6,68	5,04	4,56	3,56
17.8.- 18.8.	6,32	7,04	5,84	6,60	6,88	5,06	5,96	5,92	5,68
18.8.- 19.8.	7,68	8,72	6,72	7,56	7,86	6,60	5,88	6,10	5,18
19.8.- 20.8.	6,80	7,44	5,96	6,80	7,28	5,88	6,48	6,64	5,24
20.8.- 21.8.	7,20	7,76	6,32	7,16	7,54	6,44	5,80	5,76	5,12
21.8.- 22.8.	7,68	8,32	7,04	7,36	7,28	6,32	5,84	5,36	5,20
22.8.- 23.8.	6,88	6,88	5,80	6,48	6,10	5,80	5,44	4,80	4,80
23.8.- 24.8.	5,92	6,48	5,32	5,86	5,80	5,24	5,84	5,44	5,36
24.8.- 25.8.	5,92	6,56	5,38	5,88	6,38	5,40	5,76	6,32	4,88
25.8.- 26.8.	6,96	7,84	6,32	6,96	7,62	6,32	5,44	5,28	4,64
26.8.- 27.8.	7,20	7,84	6,64	7,60	7,92	6,80	4,32	4,56	2,88
27.8.- 28.8.	7,80	8,10	7,16	7,40	7,76	6,56	5,60	5,14	4,60
28.8.- 29.8.	7,28	7,98	6,56	7,04	7,76	6,16	5,84	6,04	5,20
29.8.- 30.8.	8,12	8,48	7,40	8,08	8,40	7,12	5,00	4,56	3,84
30.8.- 31.8.	8,24	8,52	7,60	8,08	8,40	7,24	5,60	5,24	4,24
31.8.- 1.9.	8,00	8,32	7,60	8,00	8,32	7,44	5,44	4,64	3,92

1 = Sauerstoffgehalt des Wassers zu Beginn des Versuchs-
(Kontrollwert)

2 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der unverhüllten Flasche
nach dem Versuch - (Assimilation)

3 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der verhüllten Flasche
nach dem Versuch - (Atmung)

Tabelle 1a

Temperaturverhältnisse in der Herzogsbucht im August 1951

Datum	0m	2m	4m
31.7. - 1.8.	24,7 °C	21,9 °C	19,1 °C
2.8. - 3.8.			
3.8. - 4.8.			
4.8. - 5.8.			
5.8. - 6.8.			
6.8. - 7.8.	22,5		
7.8. - 8.8.			
8.8. - 9.8.	22,4	21,9	21,1
9.8. - 10.8.	22		
10.8. - 11.8.	21	20,7	20,4
11.8. - 12.8.	20,7		19,3
12.8. - 13.8.	20,8	20,4	19,7
13.8. - 14.8.	21,2	20,8	20,3
14.8. - 15.8.	21,1	20,4	20,1
15.8. - 16.8.	21,1	20,4	20,2
16.8. - 17.8.	20,9		
17.8. - 18.8.	20,8	20,5	20,1
18.8. - 19.8.	21,3	20,8	20,6
19.8. - 20.8.	20,7	20,5	20,5
20.8. - 21.8.	21	20,7	20,6
21.8. - 22.8.	21,3	20,8	20,6
22.8. - 23.8.	20,8	20,6	20,4
23.8. - 24.8.	20,2	19,8	19,8
24.8. - 25.8.	20	19,4	19,2
25.8. - 26.8.	20,6	19,9	19,9
26.8. - 27.8.	20,9	20,8	20,4
27.8. - 28.8.	21	20,8	20,4
28.8. - 29.8.	20,5	20,8	20,6
29.8. - 30.8.	21,2	21,2	20,8
30.8. - 31.8.	21,5	21,8	20,8
31.8. - 1.9.	22	21,9	21,3

Tabelle 2

Gesamtassimilation (in O_2 mg/L u. CO_2 mg/L) unter 1 cm^2
Wasserfläche und Energiegehalt der CO_2 -Mengen (cal)

1951	$O_2\text{mg/L/cm}^2/24^h = CO_2\text{mg/L/cm}^2/24^h$		- cal
31.7.- 1.8.	0,493	0,605	1,5394
2.8.- 3.8.	0,672	0,924	2,3589
3.8.- 4.8.	0,500	0,687	0,7539
4.8.- 5.8.	0,420	0,577	1,4708
5.8.- 6.8.	0,640	0,880	2,2466
6.8.- 7.8.	0,496	0,682	1,7411
7.8.- 8.8.	0,412	0,566	1,4449
8.8.- 9.8.	0,340	0,467	1,1922
9.8.-10.8.	0,384	0,528	1,3479
10.8.-11.8.	0,550	0,756	1,9300
11.8.-12.8.	0,556	0,778	1,9862
12.8.-13.8.	0,568	0,781	1,9938
13.8.-14.8.	0,449	0,617	1,5752
14.8.-15.8.	0,548	0,753	1,9224
15.8.-16.8.	0,678	0,932	2,3793
16.8.-17.8.	0,502	0,670	1,7105
17.8.-18.8.	0,520	0,715	1,8253
18.8.-19.8.	0,590	0,811	2,0704
19.8.-20.8.	0,638	0,877	2,2389
20.8.-21.8.	0,460	0,632	1,6134
21.8.-22.8.	0,344	0,473	1,2075
22.8.-23.8.	0,128	0,176	0,4493
23.8.-24.8.	0,240	0,330	0,8424
24.8.-25.8.	0,530	0,729	1,8611
25.8.-26.8.	0,508	0,698	1,7819
26.8.-27.8.	0,596	0,819	2,0909
27.8.-28.8.	0,415	0,570	1,4552
28.8.-29.8.	0,588	0,808	2,0641
29.8.-30.8.	0,472	0,649	1,6558
30.8.-31.8.	0,494	0,679	1,7334
31.8.- 1.9.	0,332	0,456	1,1641

Tabelle 3

Datum 1951	Gesamtassimilation in CO ₂ mg/L/cm ² /24 ^h	Strahlung cal/cm ² /24 ^h	Ausnützung o/oo
31.7.- 1.8.	0,603	1222,27	1,26
2.8.- 3.8.	0,924	1290,17	1,82
3.8.- 4.8.	0,678	1192,09	1,48
4.8.- 5.8.	0,577	440,95	3,34
5.8.- 6.8.	0,880	974,84	2,30
6.8.- 7.8.	0,682	1188,97	1,46
7.8.- 8.8.	0,566	825,57	1,69
8.8.- 9.8.	0,467	663,95	1,79
9.8.-10.8.	0,528	316,88	4,25
10.8.-11.8.	0,756	1094,01	1,75
11.8.-12.8.	0,778	1094,01	1,82
12.8.-13.8.	0,781	1222,27	1,63
13.8.-14.8.	0,617	1063,77	1,48
14.8.-15.8.	0,753	1192,09	1,61
15.8.-16.8.	0,932	1183,31	2,01
16.8.-17.8.	0,690	595,08	2,90
17.8.-18.8.	0,751	1244,91	1,54
18.8.-19.8.	0,811	1183,31	1,75
19.8.-20.8.	0,877	1109,10	2,02
20.8.-21.8.	0,632	1056,28	1,53
21.8.-22.8.	0,473	527,54	2,25
22.8.-23.8.	0,176	312,69	1,34
23.8.-24.8.	0,330	467,78	1,80
24.8.-25.8.	0,729	1003,46	1,85
25.8.-26.8.	0,698	950,65	1,87
26.8.-27.8.	0,819	845,03	2,47
27.8.-28.8.	0,570	095,32	2,09
28.8.-29.8.	0,808	934,97	2,21
29.8.-30.8.	0,649	965,74	1,70
30.8.-31.8.	0,679	890,30	2,85
31.8.- 1.9.	0,456	792,21	1,47

IV. Das Verhalten des Phytoplanktons in einem abgeschlossenen Wasservolumen

Nach einem Ausspruch von Hensen bestimmt erst die Genauigkeit der Kenntnis der Fehler die Wertstufe wissenschaftlicher Untersuchungen.

Die wichtigen Folgerungen, die sich bei der Berechnung der Phytoplanktonproduktion und der Energieausnützung ergeben, ließen es notwendig erscheinen, die angewandte Untersuchungsmethode zu überprüfen, ob sie der Forderung nach möglichst natürlichen Untersuchungsbedingungen nachkommt und wir die Assimilationswerte, die nach einer bestimmten Expositionszeit in den Flaschen festgestellt wurden, denjenigen des freien Wassers gleichsetzen können.

1. Der Einfluß der Flaschengröße

Um eine eventuelle Beeinflussung der Assimilation durch die Flaschengröße feststellen zu können, wurde an zwei Tagen die Sauerstoffproduktion in 1000 ccm- und 100 ccm-Flaschen im Vergleich zu den bei den Versuchen regelmäßig verwendeten 500 ccm-Flaschen ermittelt. Vom 1.-2. und vom 2.-3. September 1951 wurden 6 mit Oberflächenwasser gefüllte Flaschen zu 500 ccm, zwei 1 L-Flaschen und zwei 100 ccm-Flaschen 10 cm unter der Wasseroberfläche exponiert. Die halbe Anzahl der Flaschen war zur Bestimmung des Atmungswertes verdunkelt.

Wenn das Einschließen des Phytoplanktons in ein bestimmtes Wasservolumen die Lebensbedingungen der Schwebpflanzen verschlechtert, so ist anzunehmen, daß dabei auch die Assimilationstätigkeit in Mitleidenschaft gezogen wird. Ein kleiner Wasserraum müßte sich in diesem Fall besonders ungünstig auswirken, so daß in kleinen Flaschen weniger O_2 mg/L abgeschieden wird als in Flaschen mit größerem Volumen.

Das Versuchsergebnis ist in der folgenden Zusammenstellung

enthalten.

Flaschen- Volumen	O ₂ mg/L		Gesamtassimilation		Temp, °C	
	belichtet	verdunkelt	O ₂ mg/L			
	1.9.	2.9.	1.9.	2.9.	1.-2.9.	2.-3.9.
1 Liter	0,28	0,40	0,68	0,80	0,96	1,20
500 ccm	0,28	0,32	0,68	0,80	0,96	1,12
100 ccm	0,24	0,15	0,68	0,80	0,92	0,96

Diese Werte zeigen eine gute Übereinstimmung und bestätigen, daß das Volumen der 500 ccm-Flaschen, mit denen die Versuche durchgeführt wurden, für eine normale Assimilation ausreicht.

Da das Glas der Flaschen UV-Strahlung absorbiert (Gessner und Diehl 1951), war eine Schädigung des Phytoplanktons der Om-Serie durch kurzwellige Strahlung von vornherein ausgeschlossen. Außerdem hingen die Flaschen immer 10 - 15 m unter der Wasseroberfläche. Diese Schicht genügt, um den schädlichen kurzwelligen Anteil des UV fast vollständig zu absorbieren.

2. Die Assimilation in ruhigem und bewegtem Wasser

Wenn auch die Temperatur- und Lichtverhältnisse in den Versuchsflaschen denen außerhalb der Gefäße entsprechen, so sind doch die für die Schwebepflanzen lebensnotwendigen Ausgleichsströmungen in den Flaschen herabgesetzt oder ganz unterbunden.

Durch die Verminderung oder das Fehlen der Turbulenz setzt sich ein Teil des Phytoplanktons während der 24-stündigen Expositionszeit am Grund der Flaschen ab. Die Versuchsgefäße waren zwar an der Boje nicht starr befestigt, so daß bei stärkerem Wind sowohl der Schwimmer als auch die Flaschen an der Oberfläche durch den Wellengang in Bewegung gerieten. Zu einer Durchmischung der abgeschlossenen Wassermenge in 2m und 4m Tiefe reichte die Wellenbewegung sicher nicht aus.

Eine Sedimentation des Planktons bleibt möglicherweise nicht ohne Folgen für die Assimilation, da der Stoffaustausch an der Körperoberfläche eines sedimentierten Plankters nicht im gleichen Maß ungehindert vor sich gehen kann, wie im Schwebestand. Der Lichtgenuß des Phytoplanktons in der dünnen Sedimentationsschicht dürfte ebenfalls ein anderer sein.

Um festzustellen, wie weit die Assimilation durch die herabgesetzte Turbulenz in den Versuchsgefäßen beeinflusst wird, wurden 3 Flaschen mit Oberflächenwasser an der Boje aufgehängt, 3 weitere in vollkommen ruhiger Lage 15 cm unter der Wasseroberfläche auf zwei Pfählen befestigt. Damit die Flaschen leichter von der Wellenbewegung erfaßt werden konnten, wurde aus großen Flaschenkorken und Draht ein kleines Floß hergestellt, an dem in 15 cm Tiefe nochmals 3 Versuchsgefäße angebracht wurden. Der Abstand der tragenden Korkstücke war so groß gehalten, daß ihr Schatten nicht auf die Flaschen fallen konnte. Die Versuche wurden an 5 Tagen mit unterschiedlicher Windstärke durchgeführt. Die Versuchsdauer betrug 24 Stunden. Die folgende Tabelle enthält die gefundenen Vergleichswerte.

Datum 1954	Luftbewegung	O ₂ -Zunahme in mg/L		- Mittelwerte
		Flaschen an der Boje	Flaschen am bewgl. Floß	Flaschen un- bewgl. befest.
12.-13.8.	windstill	0,64	0,66	0,64
16.-17.8.	sehr windig	0,32	<u>0,52</u>	0,26
17.8.-18.8.	windig	0,60	<u>0,76</u>	0,58
20.8.-21.8.	windig	0,52	<u>0,68</u>	0,48
21.-22.8.	windstill	1,00	0,96	0,98

Sie zeigen, daß in den am leicht beweglichen Floß befestigten Flaschen gegenüber den beiden anderen Versuchsserien eine erhebliche Sauerstoffzunahme stattgefunden hat. Der Unterschied zwischen diesen Werten und der O₂-Zunahme in den Flaschen an der

Boje ist größer als jener zwischen letzterer und den vollkommen unbeweglichen Flaschen.

Wenn wir annehmen, daß die Bewegung, die der Inhalt der Flaschen am Floß erfährt, der des freien Wassers entspricht, so entsteht an windigen Tagen in den an der Boje knapp unter der Wasseroberfläche aufgehängten Flaschen ein Assimilationsverlust von 20 - 25 %, der sich an stürmischen Tagen noch erhöhen dürfte. Im Lunzer Untersee liegt die mittlere Tiefe, in der die Wellenbewegung noch zur Auswirkung kommt, bei 1 m (Ruttner 1952).

Sicher verursacht der Wind in der nur 3,5 ha großen und an zwei Seiten durch Baumbestände und Gebäude geschützten Herzogsbucht keine stärkere Wellenbewegung als im wesentlich größeren Lunzer See. Demnach können wir für die in 2 m Tiefe und 4 m Tiefe aufgehängten Flaschen in der Regel keine wirksame Durchmischung erwarten; es dürfte jedoch in diesen Tiefen die Assimilation von der Turbulenz weniger beeinflußt werden als an der Wasseroberfläche, da keine Wellenbewegung mehr vorhanden ist und Strömungen innerhalb der unteren Wasserschichten hauptsächlich durch Temperaturunterschiede hervorgerufen werden.

3. Die Bedeutung der Expositionsdauer

Für die Mehrzahl der durchgeführten Assimilationsversuche betrug die Versuchsdauer 24 Stunden. Dies ist eine sehr lange Zeit, wenn wir bedenken, daß sich nach der im vorigen Abschnitt besprochenen Bedeutung der Wasserbewegung die Lebensbedingungen der Planktonalgen in einem abgeschlossenen Wasserraum mit zunehmender Dauer des Versuchs verschlechtern werden. Bei den ersten Untersuchungen mit marinem Phytoplankton wurden, unter Verwendung von natürlichen Planktongesellschaften, die Flaschen oft mehrere Tage exponiert und die Planktonmenge durch Zugabe von Netzfängen erhöht. (Gardner u. Gran 1927, Marshall u. Orr 1927 aus Kalle 1948). Das Arbeiten mit Algenkulturen beschränkt die Expositionszeit auf wenige Stunden, da von einer beliebigen Planktondichte ausgegangen werden kann. (Schomer u. Juday 1935).

In unserem Fall wurde die Versuchszeit deshalb auf 24 Stunden festgesetzt, da infolge der geringen Phytoplanktondichte erst nach mehr als 6stündiger Expositionsdauer brauchbare Assimilationswerte zu erwarten waren; außerdem fußen die Berechnungen über die Ausnützung der Sonnenenergie auf dieser täglichen Assimilationsleistung.

Zur Untersuchung der Frage, ob bereits eine eintägige Versuchsdauer die CO_2 -Assimilation beeinträchtigt, wurde von folgenden Gedanken ausgegangen: Wirkt sich eine 24stündige Expositionszeit nachteilig auf die Assimilation aus, so wäre bei kürzeren Versuchsperioden, z.B. 6 Stunden, eine höhere Assimilationsleistung zu erwarten. Die Summe von 4 mal 6Stundenwerten müßte demnach den Endwert des 24-Stundenversuchs überschreiten, wenn das Phytoplankton durch die 24stündige Expositionsdauer in seiner Assimilationstätigkeit gehemmt wird. Sind beide Werte annähernd gleich, so haben sich die Lebensbedingungen nach einem Tag nicht wesentlich gegenüber denjenigen zu Beginn des Versuchs verändert.

Die Versuchsreihe, die diese Frage nachprüfen sollte, wurde im Nymphaea-Teich des Botanischen Gartens in München, einem 80 cm tiefen Wasserbecken, durchgeführt. Morgens um 8 Uhr wurde ein 25L-Glaskolben durch eine Saugvorrichtung mit Wasser aus 20 cm Tiefe gefüllt. Anschließend wurde das Teichwasser in acht 500ccm-Flaschen verteilt und der Sauerstoffgehalt des Wassers für den Kontrollwert bestimmt.

4 Flaschen waren zur Bestimmung der Sauerstoffzehrung durch die Atmung verhüllt. Das Phytoplankton bestand während der Versuchstage hauptsächlich aus Dinobryen (*Dinobryon sertularia*, *Dinobryon cylindricum*), also Formen, die auch im Klostersee fast zu allen Jahreszeiten mit die Hauptmasse der Planktonalgen stellen.

Da am ersten Versuchstag der Sauerstoffgehalt des Wassers weit über dem Sättigungswert lag und daher zu befürchten war, daß sich der bei der Assimilation abgeschiedene Sauerstoff nicht mehr vollständig im Wasser löst, sondern Gasbläschen bildet und so der Bestimmung verlorenggeht, wurde der O_2 -Gehalt des Teichwassers durch ein 20 Min. langes Evakuieren um 4 - 5 mg/L herabgesetzt.

Nach dem Abfüllen wurden die 8 Flaschen im Nymphaea-Becken 15 cm unter der Wasseroberfläche aufgehängt und der Rest des Wassers, der später bei den kurzfristigen Vergleichsversuchen Verwendung fand, in den Teich zurückgestellt, damit das Phytoplankton im Glasballon unter den gleichen Licht- und Temperaturverhältnissen steht, wie in den Versuchsflaschen.

Der Inhalt des Glasballons wurde von Zeit zu Zeit geschüttelt, um das Absinken und Sedimentieren des Planktons zu verhindern.

Von der ersten Versuchsserie wurde jeweils nach 6, 12, 18 und 24 Stunden ein Flaschenpaar abgenommen und die Gesamtassimilation bestimmt. Da die Streuung der O_2 -Werte in den 500 ccm-Flaschen, wie bereits festgestellt wurde, nur $\pm 0,04$ mg O_2 /L beträgt, konnte auf eine Mittelwertbildung verzichtet werden, die sich aus methodischen Gründen nur unter großen Schwierigkeiten (Verarbeitung von mindestens 60 Liter Wasser an einem Tag) hätte durchführen lassen.

Im Gesamtassimilationswert der 24 Stunden exponierten Versuchsgefäße ist der Tagesgang der Assimilation enthalten, dessen Ablauf in 4 Perioden zu je 6 Stunden aufgeteilt durch die Bestimmung des Sauerstoffgehalts nach 6, 12, 18 und 24 Stunden ermittelt wurde. Erst eine Mindestexpositionszeit von 6 Stunden lieferte, vor allem bei den Vergleichsversuchen, brauchbare Werte, so daß eine kürzere Periode bei der vorhandenen Phytoplanktonmenge nicht in Frage kam. Von einer Vergrößerung des natürlichen Phytoplanktongehalts durch Netzfänge wurde Abstand genommen, da mit diesem Algenmaterial, wie sich bei Vorversuchen herausstellte, keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden konnten.

Die Differenzen in den Assimilations- und Atmungswerten zweier Perioden ergeben die Sauerstoffzu- bzw. Abnahme innerhalb 6 Stunden.

Um das Verhalten des Phytoplanktons bei kürzeren Versuchszeiten im Vergleich zu der bei den Grundversuchen dieser Arbeit üblichen 24stündigen Expositionsdauer zu beobachten, wurde nach 6 Stunden 1 Flaschenpaar mit Wasser aus dem Glasballon gefüllt und die O_2 -Ausgangsmenge bestimmt. Diese beiden, um 14 Uhr abgefüllten Flaschen, wurden um 20 Uhr abends gegen neue ersetzt, die dann um 2 Uhr nachts wieder ausgewechselt wurden.

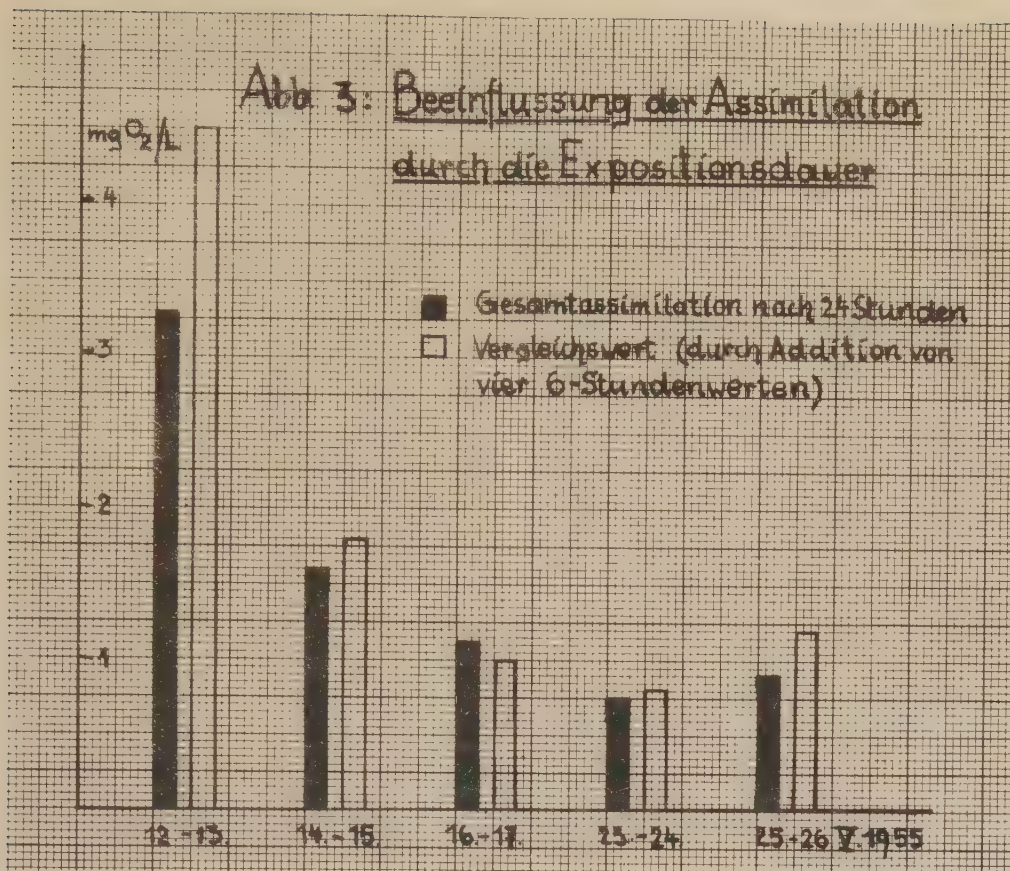
Von der im Glasballon nach dem Abfüllen der ersten Versuchsserie verbliebenen Wassermenge war anzunehmen, daß sich in ihr die Planktondichte im Laufe des Tages nicht merkbar veränderte, so daß bei den Kontrollversuchen mit kürzerer Expositionsdauer in den um 14, 20 und 2 Uhr abgefüllten Flaschen noch die gleiche Planktonmenge vorhanden war, wie morgens um 8 Uhr zu Beginn des Versuches. Nur die O_2 -Ausgangsmenge hatte sich während dieser Zeit verändert und wurde für jeden 6Stunden-Kontrollversuch neu bestimmt. Die Wassermenge im Glaskolben war so groß bemessen, daß nach dem Füllen der letzten Flasche noch ein Rest von 4 - 5 Litern übrigblieb.

Durch diese 4 mal 6stündige Versuchszeit wurde erreicht, daß das Phytoplankton der Vergleichsversuche denselben wechselnden Licht- und Temperaturverhältnissen ausgesetzt war, wie jenes, das 12, 18 und 24 Stunden in den Flaschen eingeschlossen blieb. Ergibt nun die Summe der Gesamtassimilation der vier 6Stundenperioden einen höheren Wert als der nach 24 Stunden festgestellte, so wäre die oben begründete Annahme gerechtfertigt, daß sich eine 24stündige Versuchszeit ungünstig auf das Phytoplankton auswirkt und die Assimilationsleistung herabgesetzt wird; findet man dagegen beim Vergleich der beiden Versuchsreihen keinen wesentlichen Unterschied in der Assimilationstätigkeit, so hat das Phytoplankton während der eintägigen Expositionsdauer durch das Einschließen in 500 ccm-Flaschen und den damit verbundenen Veränderungen der Lebensbedingungen keinen Schaden genommen.

Tabelle 4

Die Bedeutung der Expositionsdauer für die Assimilation
(Werte in O₂ mg/L)

Untersuchungs- zeit	12.-13.	14.-15.	16.-17.	23.-24.	25.-26. V.55
Gesamtass. nach					
6 Stunden	2,72	1,22	0,64	0,25	0,38
12 "	4,56	1,41	1,60	0,84	1,03
18 "	3,20	1,54	1,41	0,68	0,70
24 "	3,36	1,65	1,21	0,77	0,93
Vergleichswert:					
6 - 12 St.	1,28	0,27	0,25	0,38	0,58
12 - 18 "	0,08	0	0,07	0	0 20 ^{h-} 2h)
18 - 24 "	0,48	0,32	0,06	0,07	0,25
Summe der vier Stundenwerte:	4,56	1,81	1,02	0,80	1,21
Temperatur: °C	16,2	15,8	14,9	13,7	14,1
Witterung:	klar, sonnig	bedeckt, wolkig	wolkig	bedeckt	Regen



In Tabelle 4 und Abbildung 3 sind die Versuchsergebnisse über den Einfluß der Expositionsdauer auf die Assimilation enthalten. Sie zeigen, daß an vier der fünf Versuchstage bei der 24-stündigen Expositionsdauer ein niedrigerer Wert für die Gesamtassimilation erzielt wird, als die Addition der vier 6 Stundenwerte ergibt. Sowohl der 24Stundenwert als auch der 4-mal 6Stundenwert weisen infolge der ungleichen Strahlungsverhältnisse an den einzelnen Untersuchungstagen erhebliche Unterschiede auf. Der 24Stunden-Endwert ist bis auf einen Tag um mindestens 4 % niedriger als die Summe der vier 6Stundenwerte. Daraus geht hervor, daß in der Regel bereits eine eintägige Versuchszeit zu einem Assimilationsverlust führt. Dieser kann, wie die Differenz der beiden Endwerte vom 12. und 25.5. erkennen läßt, bis zu 26 % der gesamten, aus den vier 6Stundenwerten berechneten Tagesbilanz der Assimilation betragen. Zusammenhänge zwischen der Witterung und dem Ausmaß des täglichen Assimilationsverlustes wurden nicht beobachtet.

Die eingehende Prüfung des Verhaltens der Planktophyten in einem abgeschlossenen Wasservolumen hat nach den oben erläuterten Versuchen folgende Resultate ergeben:

Die verwendete Flaschengröße von 500 ccm bleibt ohne Einfluß auf die Assimilation. Dagegen entsteht durch Herabsetzung der Wasserbewegung in den Flaschen der Oberflächenserie besonders an windigen Tagen ein Assimilationsverlust von 20 - 25 %. Die Assimilation wird durch die Wellenbewegung deshalb gefördert, weil sich in bewegtem Wasser der Stoffaustausch an der Körperoberfläche der Schwebepflanzen rascher vollzieht. Von Meeresalgen aus der Brandungszone ist ein ähnliches Verhalten bekannt. Sie zeigen in Anpassung an ihren Lebensraum ebenfalls verstärkte Assimilation in bewegtem Wasser.

Eine weitere wichtige Erkenntnis lieferten die Versuche, die den Einfluß der Expositionsdauer auf die Assimilation aufhellen sollten. Schon eine 24stündige Versuchszeit führt zu einem Assimilationsverlust, dessen Ausmaß täglichen Schwankungen unterworfen ist und bis 26 % betragen kann.

Bei der Feststellung der täglichen Assimilationsleistung konnten jedoch die Fehler, die sich aus den Assimilationsverlusten durch herabgesetzte Wasserbewegung und der 24stündigen Versuchszeit ergaben, infolge der wechselnden Witterungsverhältnisse nicht berücksichtigt werden.

IV. Die Ausnützung der Sonnenenergie zu verschiedenen Jahreszeiten

1. Jahreszeitliche Unterschiede

Der Energiegewinn des Phytoplanktons der Herzogsbucht im August 1951 erweist sich mit durchschnittlich 2 ‰ als sehr niedrig, wenn wir ihn mit den Berechnungen Judays (1940) für den Mendota-Lake und denjenigen Gessners (1949) für den Weßlinger See vergleichen. Für beide Seen wird eine Energieausnützung von 0,5 - 1 % angegeben.

Da unsere Untersuchungszeit gerade in den Bereich der Sommerstagnation fiel, die in der Regel einen Tiefpunkt der Planktonproduktion darstellt, schien es wünschenswert, die gleichen Versuche zu verschiedenen Jahreszeiten durchzuführen, damit festgestellt werden konnte, wie weit sich die Nährstoffzufuhr aus dem Hypolimnion des Klostersees während der Frühjahrs- und Herbstvollzirkulation auf die Erzeugung organischer Substanz auswirkt und in welchen Grenzen sich die jahreszeitlichen Unterschiede im Energiegewinn bewegen. Neben den trophischen Faktoren sind an ihrem Zustandekommen auch die durch den Jahresablauf hervorgerufenen Veränderungen der Licht- und Temperaturverhältnisse im See und die mit den Jahreszeiten wechselnde Zusammensetzung des Phytoplanktons beteiligt.

Die folgende Zusammenstellung bringt die Versuchsergebnisse über die assimilatorische Leistung der Schwebepflanzen zu verschiedenen Jahreszeiten und eine Aufzählung von Arten, die zur Untersuchungszeit die Hauptmasse des assimilierenden Planktons bildeten.

Die einzelnen jahreszeitlichen Versuchsabschnitte konnten nicht innerhalb eines Jahres durchgeführt werden, da mehrmals Zwangspausen eingelegt werden mußten. Sie erstrecken sich deshalb insgesamt über 3 Jahre. In einigen Fällen war es möglich, die Versuchszeiten so zu wählen, daß sie zur gleichen Zeit in einem späteren Jahr wiederholt werden konnten. Dies war notwendig, um festzustellen, wie weit die Ergebnisse verschiedener Jahre einander gleichgesetzt werden können.

I.

Zeit April 1952	Temp. °C/Om	Gesamtass. mg CO ₂ /cm ² / 24St.	Strahlung cal/cm ² / 24St.	Ausnutzung o/oo
31.3.-1.4.	8,7	0,869	1060,09	2,9
1.4.-3.4.	8,1	0,605	313,01	4,96 (Mittel
3.4.-4.4.	6,9	0,802	871,69	2,46 ^{v.48St.})
4.4.-5.4.	-	0,813	911,32	2,27
5.4.-6.4.	6,5	0,663	887,56	1,91
Mittel		0,750	808,73	2,90

Planktonzusammensetzung :

Dinobryon cylindricum	++++	Uroglenopsis americana	++
Dinobryon divergens	++++	Asterionella formosa	++
Dinobryon sociale	++	Synedra acus angust.	+++
Cryptomonas erosa	+	Peridinium aciculiferum	+

II.

Zeit Juni 1952	Temp. °C/Om	Gesamtass. mg CO ₂ /cm ² / 24St.	Strahlung cal/cm ² / 24St.	Ausnutzung o/oo
2.6.-3.6.	19,6	0,624	855,14	1,86
3.6.-4.6.	-	0,698	420,00	4,02
4.6.-5.6.	-	0,749	1181,63	1,72
5.6.-6.6.	20,5	1,226	1060,67	1,71
6.6.-7.6.	20,2	0,566	968,13	1,5
Mittel		0,781	897,11	2,16
20.6.-21.6.		0,814	870,93	2,38
5.7.-6.7.		0,748	1037,09	1,84

Planktonzusammensetzung:

Dinobryonarten	++++
Microcystis aeruginosa	++
Aphanocapsa pulchra	+
Pediastrum duplex	++
Scenedesmus quadricauda	++
Synedra acus angust.	+
Peridinium volzii	++++

III

Zeit	Temp.	Gesamtass.	Strahlung	Ausnützung
Oktob. 1952	°C/0m	mg CO ₂ /cm ² 24St.	cal/cm ² 24St.	‰
20.-21.10.	-	0,376	362,06	2,66
21.-22.10.	-	0,379	419,01	2,30
22.-23.10.	10,4	0,415	476,86	2,43
23.-24.10.	9,8	0,352	252,29	3,68
24.-25.10.	10,0	0,360	274,73	3,34
Mittel		0,376	356,99	2,82

Planktonzusammensetzung:

Dinobryon cylindricum	+++	Ceraticum hirundinella	++
Dinobryon divergens	++	Peridinium cinctum	++
Dinobryon sociale	+++	Asterionella formosa	+
Mallomonas caudata	++		

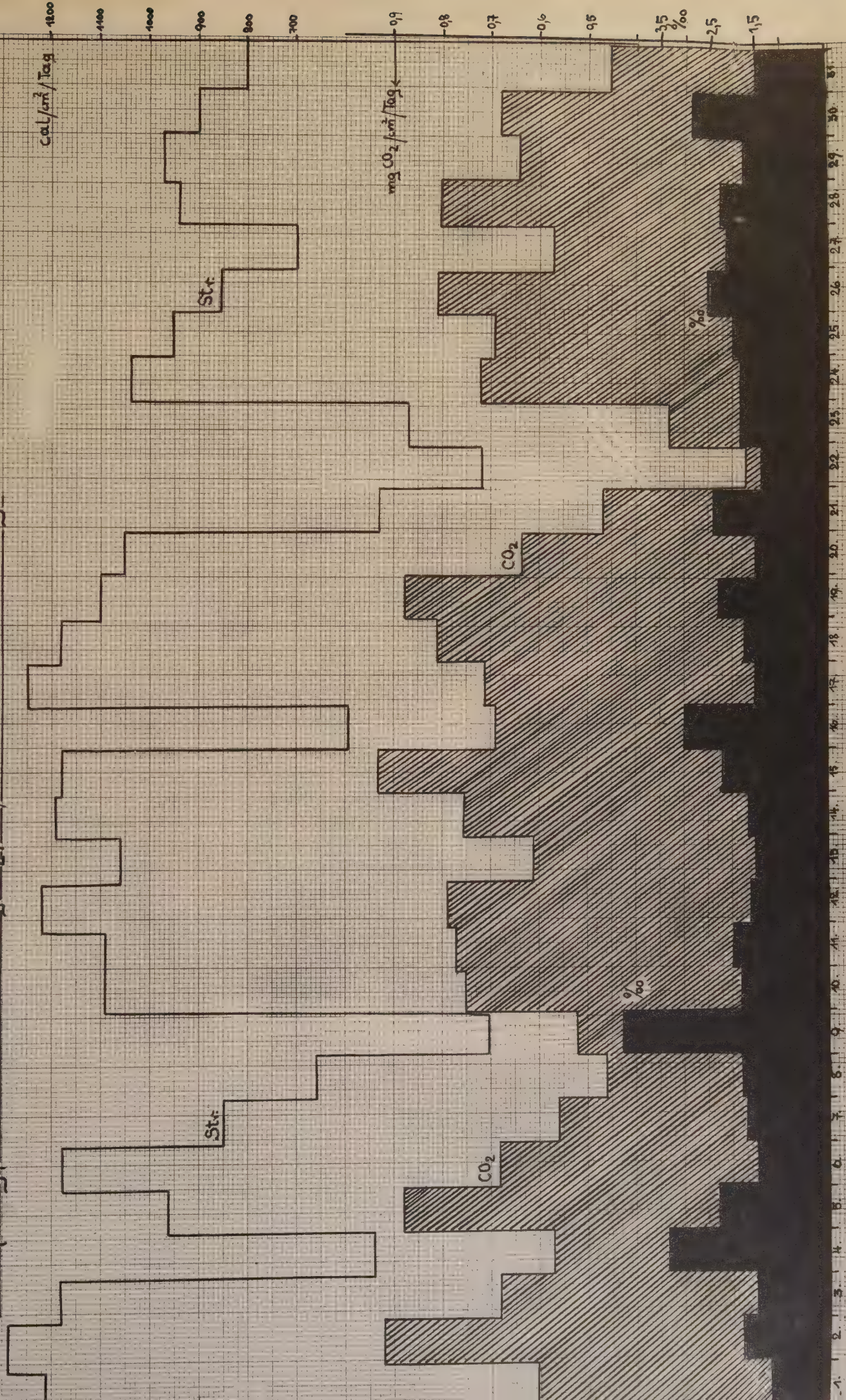
IV.

Zeit	Temp.	Gesamtass.	Strahlung	Ausnützung
Dez. 1953	°C/0m	mg CO ₂ /cm ² 24St..	cal/cm ² 24St.	‰
8.-9.12.	3,8	0,305	368,61	2,14
9.-10.12.	2,0	0,294	274,78	2,73
10.-11.12.	3,0	0,291	295,10	2,52
11.-12.12.	4,0	0,283	261,38	2,72
12.-13.12.	3,6	0,214	107,32	5,09
Mittel		0,277	261,42	3,04

Planktonzusammensetzung:

Dinobryon cylindricum	+++	Synedra acus angust.	++
Dinobryon divergens	++	Melosira ambigua	+
Dinobryon sociale	++++	Fragilaria crotonensis	+++
Uroglenopsis americana	++++	Fragilaria virescens	+
Uroglana volvox	+++	Asterionella formosa	+++
Ceraticum hirundinella	+		
Peridinium cinctum	++		

Abb. 2: Strahlung, Assimilation in $\text{mg CO}_2/\text{cm}^2/24\text{St}$ und Ausnützung



V.

Zeit Juni 1954	Temp. °C/0m	Gesamtass. mg CO ₂ /cm ² / 24St.	Strahlung cal/cm ² / 24St.	Ausnützung o/oo
4.-5.6.	-	0,292	394,51	1,88
5.-6.6.	18,0	0,341	585,77	1,48
6.-7.6.	-	0,278	662,13	1,07
7.-8.6.	16,8	0,435	870,07	1,14
8.-9.6.	17,0	0,534	1195,77	1,22
Mittel		0,376	741,64	1,36

Planktonzusammensetzung:

Dinobryon cylindricum	++++	Microcystis flos aquae	+++
Dinobryon divergens	++	Protococcus botryoides	++
Dinobryon sociale	++	Aphanocapsa pulchra	++
Peridinium volzii	++++	Asterionella formosa	+
Ceratium hirundinella	++	Tabellaria fenestrata	+
Pediastrum botyanum	++	Trachelomonas volvocina	+
Pediastrum duplex	+++		
Scenedesmus quadricauda	++		

VI.

Zeit Juli 1954	Temp. °C/0m	Gesamtass. mg CO ₂ /cm ² / 24St.	Strahlung cal/cm ² / 24St.	Ausnützung o/oo
26.-27.7.	21,6	0,473	870,67	1,39
27.7.-28.7.	-	0,694	1128,33	1,59
28.-29.7.	22,2	0,583	777,23	1,92
29.-30.7.	-	0,594	741,65	2,12
30.-31.7.	21,2	0,435	893,32	1,25
Mittel		0,555	876,78	1,65

Planktonzusammensetzung:

Dinobryon cylindricum	++++	Pediastrum duplex	+
Dinobryon divergens	+++	Coelastrum microsporum	+
Dinobryon sociale	+++	Microcystis aeruginosa	++
Uroglena volvox	++	Microcystis flos aquae	++
Peridinium cinctum	+++	Anabaena flos aquae	+
Peridinium volzii	++	Aphanocapsa pulchra	+++
Ceratium hirundinella	++	Synedra acus angust,	++
Gymnodinium fuscum	+	Fragilaria crotonensis	+
		Tabellaria fenestrata	+

Zeit August 1954	Temp. °C/0m	Gesamtass., mg CO ₂ /cm ² / 24St.	Strahlung cal/cm ² / 24St.	Ausnützung %
11.-12.8.	20,0	0,781	1202,84	1,66
12.-13.8.	-	0,899	1098,96	2,09
16.-17.8.	-	0,332	540,67	1,57
17.-18.8.	20,8	0,484	1088,54	1,23
20.-21.8.	21,0	0,390	879,87	1,14
Mittel		0,577	962,13	1,53
Zum Vergleich aus der Versuchsserie August 1951: (Mittelwerte)				
31.7.- 6.8.		0,734	1024,06	2,04
11.8.-21.8.		0,757	1094,38	1,82

Es kann bereits vorweggenommen werden, daß Abweichungen in der CO₂-Assimilation und der Energieausnützung der Jahre 1951, 1952 und 1954 zu beobachten waren. Sie sind jedoch nicht so groß, daß die Versuchsergebnisse für eine vergleichende Betrachtung der jahreszeitlichen Planktonproduktion ungeeignet wären.

Wie sich aus den Umweltverhältnissen und der Physiologie des Phytoplanktons ableiten läßt und es die Versuchsergebnisse bestätigen, kommen als veränderliche Umweltfaktoren, die jahreszeitliche Produktionsunterschiede herbeiführen, hauptsächlich die zu- oder abnehmende Strahlungsintensität und die nachfolgenden Temperaturänderungen im See in Betracht. Ein wesentlicher Anteil am Ausmaß der Planktonproduktion kommt dem Nährstoffgehalt des Wassers, besonders dem Gehalt an Minimumstoffen zu. Wie weit dieser Faktor mit an den jahreszeitlichen Unterschieden der assimilatorischen Leistung beteiligt ist, läßt sich sehr schwer nachweisen. Man kann jedoch auf Grund des bisherigen Wissensstandes annehmen, daß auch im Klostersee der starke Nährstoffverbrauch in der trophogenen Schicht nach erfolgtem Temperatúrausgleich vor allem im Herbst durch eine Regeneration aus der tropholytischen Zone des Sees und vom Grunde her ausgeglichen wird, so daß es zur Zeit der Vollzirkulation zu einer intensiven Produktion kommt, obwohl in den Frühjahrs- und Herbstmonaten die Strahlungsintensität bereits erheblich abgenommen hat.

Die mittlere Tagesstundenzahl, die in den einzelnen jahreszeitlichen Versuchsabschnitten zur Assimilation zur Verfügung stand, schwankte zwischen 8 Stunden und 10 Minuten (IV) und 16 Stunden und 5 Minuten (II). In den Sommermonaten Juni, Juli und August steht dem Phytoplankton etwa die doppelte Belichtungszeit zur Verfügung wie im Winter (Nov., Dez., Jan.) Bei niedrigem Sonnenstand verschlechtern über dem Wasser die kürzeren Tage die Lichtverhältnisse. Die in das Wasser eindringende Strahlung erleidet an der Wasseroberfläche noch einen zusätzlichen Intensitätsverlust durch die verstärkte Reflexion. Der Anteil der reflektierten Strahlung nimmt bekanntlich mit der Vergrößerung des Einfallswinkels, den die Strahlung mit der Senkrechten bildet, zu und erreicht bei direkter Sonnenstrahlung mittags im Winter in unseren Breiten etwa 14 % der auffallenden Gesamtstrahlung (Ruttner 1952). Bei klarem Himmel ergibt die Reflexion vor allem in den Morgen- und Abendstunden mit ihrem niedrigen Sonnenstand hohe Reflexionsverluste, so daß die Strahlungsintensität unter Wasser rascher abnimmt als oberhalb. Auch hierdurch werden im Winter die Assimilationszeiten erheblich verkürzt.

Diese ungünstigen Lichtverhältnisse der Wintermonate führen keineswegs zu einem Entwicklungsstillstand der Schwebepflanzen. Vielfach kommt es gerade in der kältesten Jahreszeit zu massenhaftem Auftreten bestimmter kaltstenothermer Arten, die auch unter dem schneebedeckten Eis bei fast vollkommener Dunkelheit weiterleben (Gessner 1944).

Die Licht- und Temperaturverhältnisse der Frühjahrs- und Herbstmonate können wir nicht ohne weiteres einander gleichsetzen. Der März läßt sich hinsichtlich der Strahlungsintensität etwa mit dem September vergleichen, der Oktober mit dem Februar. Die Luft- und Wassertemperaturen dieser Monate entsprechen sich jedoch keineswegs. Während im März häufig erst die Eisdecke der Seen auftaut, herrschen im September und Oktober trotz des merkbar verkürzten Tages oft sommerliche Temperaturen. So betrug die Wassertemperatur in der ersten Aprilwoche 1952 etwa 7,5°C; während Mitte Oktober 1952 bei wesentlich geringeren Strahlungsmengen und um 2 Stun-

den kürzerer Beleuchtungsdauer durchschnittlich 10°C an der Wasseroberfläche gemessen wurden. Zur Zeit der Versuche im Dezember 1953 war die Herzogsbucht noch eisfrei. An den meisten Tagen bildete sich jedoch auf dem ruhigen Wasser der Uferzone über Nacht eine dünne Eisschicht, die am 12.12. die ganze Wasserfläche überzog, aber tagsüber wieder auftaute.

Während also im Frühjahr dem Phytoplankton bei niedrigen Wassertemperaturen große Lichtmengen zur Verfügung stehen, liegen die Verhältnisse im Herbst fast umgekehrt: die tägliche Strahlungsintensität ist stark im Abnehmen begriffen, die Wassermassen dagegen kühlen sich nur langsam ab und weisen vergleichsweise hohe Temperaturen auf.

Temperatur und Licht sind, von einigen mechanischen Faktoren abgesehen, am wirksamsten am jahreszeitlichen Auftreten und der räumlichen Verteilung des Phytoplanktons beteiligt. Auf Grund zahlreicher Einzelbeobachtungen in anderen Seen konnten hinsichtlich der Licht- und Temperaturansprüche der Planktophyten bestimmte Typen festgestellt werden (Findenegg 1947). Bei der geringen Tiefe der Herzogsbucht war selbst in den Sommermonaten keine ausgeprägte Planktonschichtung zu beobachten. Die größte Planktondichte in 2 m Tiefe war photischen Ursprungs.

Schomer und Juday (1937) beobachteten an der Photosynthese von Algenkulturen in verschiedenen Tiefen, daß die Energieausnützung von Art zu Art nicht gleich groß ist. In dem wenig durchsichtigen Helmet-Lake wurde zwar die maximale Energieverwertung beider im Versuch verwendeter Algenarten, *Chlorella* und *Coccomyxa*, schon in 1 m Tiefe gefunden; sie betrug aber bei *Chlorella* 9,5 % und bei *Coccomyxa* 11,3 %. Wir können daraus schließen, daß auch in den natürlichen Phytoplanktongesellschaften der Energiegewinn der einzelnen Arten verschieden sein wird. Folgedessen hängt der auf unsere Weise berechnete Wert der Ausnützung eng mit der Periodizität der Arten und ihrer Entwicklungsmaxima zusammen. Auch im Klostersee zeigt die Artenzusammensetzung des Phytoplanktons jahreszeitliche Unterschiede, die für die Energieausnützung im Laufe eines Jahres nicht ohne Bedeutung sein dürften.

Im Anschluß an jede der 7 Tabellen mit den jahreszeitlichen Produktionswerten sind diejenigen Arten angeführt, die zur betreffenden Zeit die Hauptmasse des Planktons stellten und damit das Assimilationsgeschehen bestimmten. Da die Kenntnis der quantitativen Artenzusammensetzung für die Fragestellung dieses Kapitels keine Bedeutung hat, sind die Häufigkeitsangaben nur Schätzungen.

Für das jahreszeitliche Auftreten bestimmter Algenarten im Klostersee ist die Tatsache bemerkenswert, daß die drei Dinobryon-Arten in wechselnden Mengen das ganze Jahr über zu finden sind, wenn wir bei dieser Feststellung von den vorliegenden Untersuchungszeiten ausgehen. *Dinobryon cylindricum* und *Dinobryon divergens* stellen von April bis Oktober den Hauptteil dieser Flagellatengattung. Mitunter tritt in diesen Monaten *D. divergens* mengenmäßig gegenüber *D. cylindricum* zurück, wie es im Oktober 1952 und Juni bis Juli 1954 der Fall war, doch verschwindet die Art nie völlig. Auch *D. sociale* ist das ganze Jahr über im Klostersee zu finden. Zur Untersuchungszeit erreichte diese Art ihr Entwicklungsmaximum im Dez. 1953.

Von den Algenarten mit streng jahreszeitlich gebundenem Auftreten ist der Flagellat *Uroglenopsis americana* zu nennen, der regelmäßig im Winter- und Frühjahrsplankton des Klostersees massenhaft zu finden ist. Während der Versuche im April 1952 und im Dezember 1953 war dies auch der Fall. Im Dezember 1953 war außerdem *Uroglena volvox* sehr stark vertreten. Es handelt sich hierbei im Gegensatz zu *Uroglenopsis* nicht um eine streng oligotherme Schwachlichtform, da diese Art auch im Juli 1954 zahlreich im Plankton zu finden gewesen war.

Als charakteristisches Winterplankton sind im Klostersee die Diatomeen anzusehen. *Asterionella formosa* u. *Synedra acus* var. ang. sind als kaltstenotherme Organismen aus vielen anderen Seen bekannt und hatten auch im Untersuchungsgebiet im Dezember 1953 ihre größte Entfaltung. Ihr Auftreten im April 1952 beweist, daß es sich bei diesen Arten tatsächlich um ausgesprochene Kälteformen handelt. Obwohl Anfang April die Strahlungsintensität sehr stark zugenommen hatte, waren beide Arten noch sehr zahlreich in allen Wasserschichten zu finden, weil die Wassertemperatur nur 7°C betrug.

Im den Sommermonaten Juni 52, Juni-Juli 54 traten diese Arten nur vereinzelt auf. Im Herbstplankton Oktober 52 war *Asterionella formosa* nur gelegentlich zu beobachten, da die Abkühlung des Wassers noch nicht das Temperaturoptimum der Diatomeen (etwa zwischen 4° u. 10°C) erreicht hatte, obwohl die Einstrahlung bereits stark im Abnehmen begriffen war - ein Beweis dafür, daß die Entwicklung von *Asterionella formosa* nicht von den Lichtverhältnissen, sondern von der Temperatur beeinflusst wird. Von Diatomeen war im Dezember 1953 noch *Fragilaria crotonensis* sehr häufig zu finden.

Eine weitere typische Winterform des Klostersees stellt *Peridinium aciculiforme* dar. Sie wird im Sommer abgelöst durch *P. volzii* und *P. cinctum*, die bis in den Spätherbst häufig anzutreffen sind. *Ceratium hirundinella*, sonst als wärmeliebend bekannt, zählt im Klostersee zu den eurythermen Arten. Neben den übrigen Peridineen war es im Oktober 1952 und Dezember 1953 meist häufig anzutreffen.

Zu den Dinobryen gesellen sich ab Mai als Sommerplankton Chlorophyceen und Cyanophyceen. Viele Arten, wie *Microcystis flos aquae*, *M. aeruginosa*, *Anabaena flos aquae*, *Aphanocapsa pulchra*, *Scenedesmus quadricauda* oder *Pediastrum duplex* sind polytherme Starklichtformen, die in der Herzogsbucht des Klostersees im Juni 1952 und Juni-Juli 1954, wie auch im August 1951 in allen Wasserschichten anzutreffen waren. Bevorzugt jedoch besiedelten sie die Region von 2m - 4m Tiefe.

Auf Grund dieser Beobachtungen läßt sich die jahreszeitliche Zusammensetzung des Phytoplanktons kurz dahingehend charakterisieren, daß im Klostersee neben den stets vorhandenen Dinobryen Diatomeen die Hauptmasse des Winterplanktons stellen, während Grün- und Blaualgen im wesentlichen zum Sommerplankton gehören. Ein ausgesprochenes Frühlings- oder Herbstplankton ließ sich nicht feststellen. Im Frühjahr waren stets noch zahlreiche Winterformen vertreten, und verschiedene wärmeliebenden Arten dehnten ihre Vegetationszeit bis in den Herbst hinein aus.

Das eigentliche Ziel unserer Assimilationsuntersuchungen zu verschiedenen Jahreszeiten war die Feststellung von jahreszeitlichen Unterschieden in der Ausnützung der Sonnenenergie. Wie bereits dargelegt wurde, betrug der durchschnittliche Energiegewinn im August 1951 2 ‰ . Bei der Berechnung der prozentualen Energieausnützung in den weiteren Versuchsserien (I - VII) ergab sich, daß dieser Wert nicht nur für den Spätsommer 1951 zutrifft, sondern auch im Juni 1952 erreicht wurde, wenn wir von den niedrigen Zahlen im Sommer 1954 absehen.

Im April 1952 blieb die photosynthetische Leistung des Phytoplanktons (I) - in $\text{mg CO}_2/\text{cm}^2/24\text{ St.}$ - etwa auf gleicher Höhe wie im August 1951. Die Versuchsserie vom Oktober 1952 (III) dagegen zeigt, daß zu dieser Jahreszeit die assimilierte CO_2 -Menge nur mehr die Hälfte des Aprilwertes betrug. Infolge der unterschiedlichen Lichtverhältnisse erreichte die prozentuale Ausnützung im April und Oktober nahezu den gleichen Wert. Er liegt um etwa 1 ‰ höher als in den Sommermonaten, so daß das Phytoplankton des Klostersees im Frühling und Herbst 1952 einen Energiegewinn von ca. $2,85\text{ ‰}$ erzielte.

Im Dezember 1953 erreichte die Energieausnützung bei einer Strahlungsintensität von durchschnittlich $261,42\text{ cal/cm}^2/24\text{ St.}$ $3,04\text{ ‰}$. Dieser Wert liegt nur wenig über dem Energiegewinn des Phytoplanktons im Frühjahr und Herbst (Abb. 4). Das tägliche Assimilationsmaximum war zu dieser Zeit fast durchwegs in der Oberflächenschicht zu finden. Die assimilierte CO_2 -Menge in Om entsprach größenordnungsmäßig den Werten im Sommer 1954 in derselben Wasserzone.

Die bisherigen Ergebnisse lassen erkennen, daß im Klostersee die Ausnützung der Sonnenenergie keine großen jahreszeitlichen Schwankungen aufweist. Doch ist das entgegengesetzte Verhalten von Strahlung und Energieausnützung durch das Phytoplankton deutlich ausgeprägt. (Abb. 4, 5). Der niedrigste Prozentsatz der Ausnützung, 2 ‰ , fällt in den Sommer, im Frühling und Herbst liegt er fast um ein Drittel höher und erreicht in den lichtarmen Winterwochen mit 3 ‰ seinen höchsten Wert.

Wie ein Vergleich der assimilierten CO_2 -Mengen der einzelnen Versuchsserien zeigt, wirken sich Frühjahrs- und Herbstvollzirkulation nicht in dem Maße auf eine Steigerung der Assimilationstätigkeit aus, wie z.B. aus der sprunghaften Zunahme des Chlorophyllgehaltes in den Monaten März, April gefolgert werden kann. (Gessner 1949, 1953).

Abb. 4: Jahreszeitliche und jährliche Unterschiede in der Ausnützung

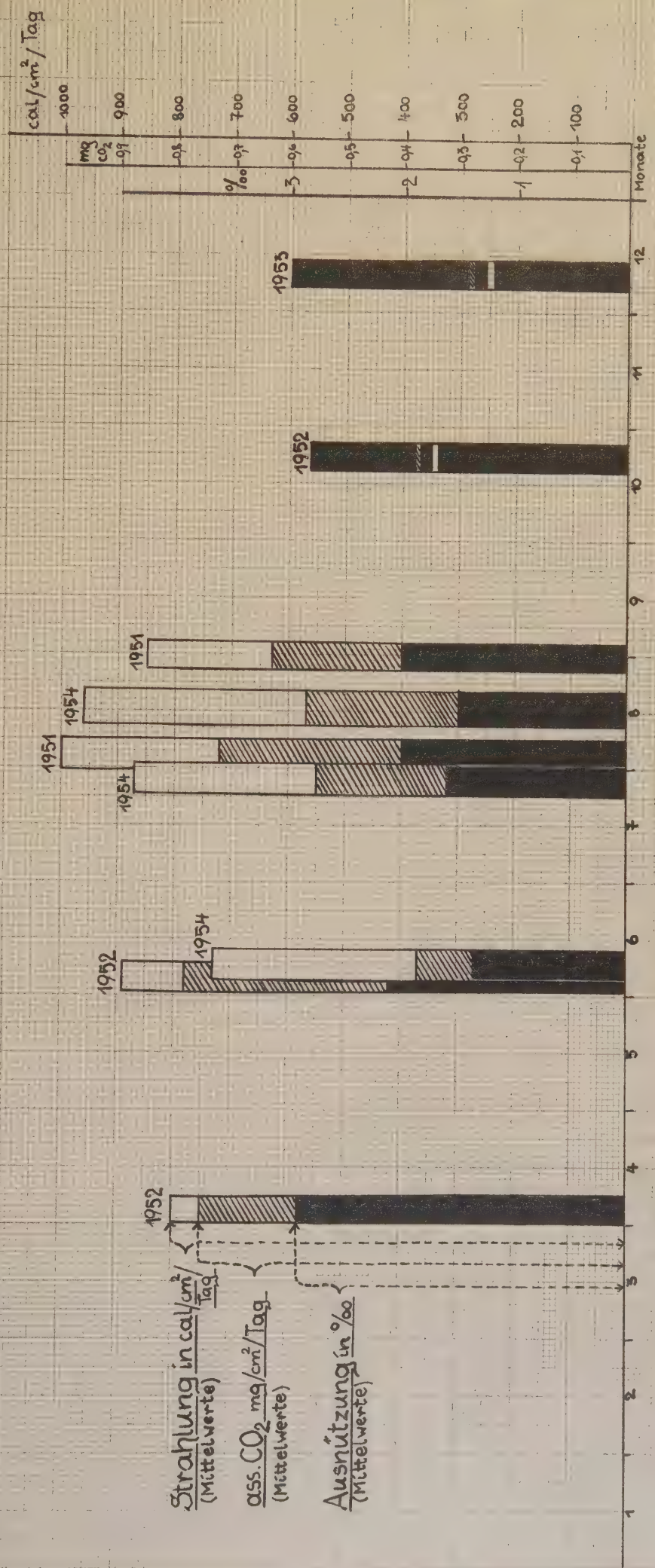


Abb. 5: Sonnenstrahlung und Energieausnützung zu verschiedenen Jahreszeiten

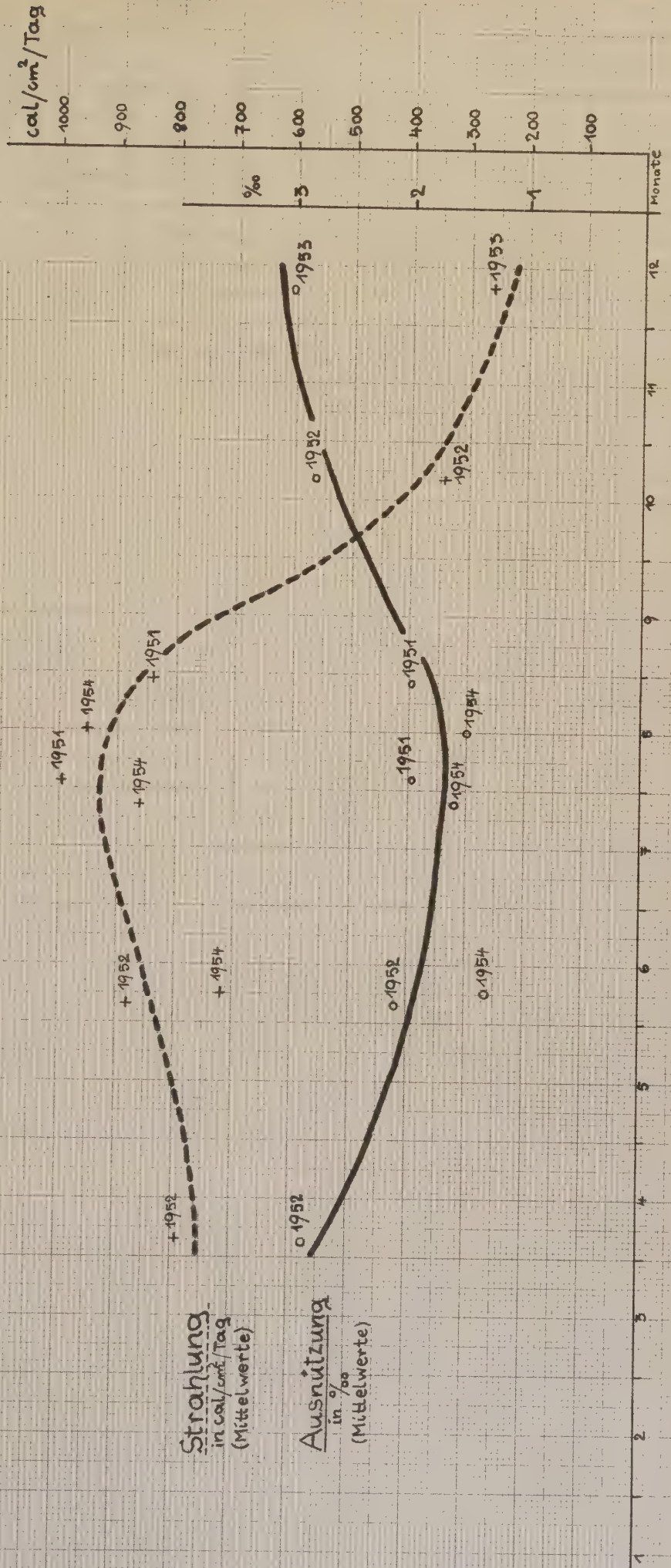


Tabelle 5

Sauerstoffproduktion in 0m, 2m und 4m Tiefe in O₂ mg/L

Datum	O ₂ mg/L in 0m			O ₂ mg/L in 2m			O ₂ mg/L in 4m		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1952									
31.3.-1.4.	13,28	14,88	12,64	12,40	13,52	11,60	11,04	10,80	10,64
1.4.-3.4.	13,20	14,24	12,56	12,26	13,44	11,52	9,68	8,32	8,00
3.4.-4.4.	12,48	13,04	11,76	12,40	13,12	11,76	12,40	12,48	11,76
4.4.-5.4.	13,36	14,08	12,72	13,52	14,24	12,56	12,26	12,88	12,08
5.4.-6.4.	13,68	14,24	12,88	13,44	13,84	12,64	12,96	12,88	12,32
1952									
2.6.-3.6.	9,44	9,28	8,76	11,12	11,44	10,64	11,44	13,08	10,80
3.6.-4.6.	9,76	10,24	9,28	11,92	12,36	11,20	10,80	11,12	9,92
4.6.-5.6.	10,08	10,56	9,68	12,84	13,60	12,32	11,16	12,08	9,52
5.6.-6.6.	10,32	11,04	9,68	12,72	13,60	11,36	11,00	12,92	10,80
6.6.-7.6.	10,16	10,52	9,60	12,16	12,64	11,64	13,12	13,76	12,96
1952									
20.-21.10.	9,36	9,76	9,04	9,48	9,84	9,04	9,44	9,32	9,04
21.-22.10.	9,60	10,2	9,36	9,60	9,96	9,28	9,44	9,64	9,24
22.-23.10.	9,76	10,0	9,28	9,32	9,76	8,88	9,36	9,32	8,96
23.-24.10.	9,52	9,84	9,12	9,68	10,16	9,36	8,24	8,08	7,92
24.-25.10.	9,96	10,48	9,6	9,68	9,84	9,12	9,28	9,24	9,04
1953									
8.-9.12	11,28	11,44	11,12	11,12	11,52	10,96	10,88	11,28	10,76
9.-10.12.	11,68	12,04	11,44	11,52	11,84	11,28	11,00	11,16	10,88
10.-11.12	11,92	12,52	11,60	11,88	11,96	11,48	10,92	10,80	10,64
11.-12.12.	12,32	12,52	11,96	11,96	12,28	11,72	10,24	10,32	10,16
12.-13.12.	12,48	12,96	12,08	12,16	12,08	11,92	9,92	10,00	9,76
1954									
4.6.-5.6.	9,28	9,28	8,84	9,28	9,28	8,92	5,76	5,44	4,80
5.6.-6.6.	8,80	9,12	8,40	8,72	8,96	8,32	4,48	4,40	4,08
6.6.-7.6.	8,88	9,28	8,56	8,32	8,48	7,92	4,24	3,88	3,76
7.6.-8.6.	8,32	8,88	7,92	8,24	8,64	7,84	6,08	6,24	5,84
9.6.-9.6.	8,56	9,04	8,20	8,44	9,20	8,04	6,08	6,16	5,68

Forts.n.S.

Datum	O ₂	mg/L	in 0m	O ₂	mg/L	in 2 m	O ₂	mg/L	in 4 m
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1954									
26.-27.7.	9,68	9,80	9,20	11,68	11,84	10,96	2,60	0,80	0,08
27.-28.7.	9,52	9,60	8,76	14,88	14,92	13,68	1,60	0,84	0,04
28.-29.7.	9,16	9,08	8,24	13,68	13,72	12,56	3,28	2,20	1,48
29.-30.7.	9,12	9,84	8,48	13,12	13,32	12,08	6,56	6,08	5,75
30.-31.7.	10,76	11,08	9,80	10,64	10,40	9,52	1,96	0,24	0,16
1954									
11.-12.8.	8,48	9,12	7,88	8,52	9,04	7,96	1,92	1,52	0
12.-13.8.	8,48	9,12	7,80	8,08	8,52	7,08	1,28	1,56	0
16.-17.8.	8,96	9,28	8,56	8,80	9,04	8,40	3,20	2,72	2,44
17.-18.8.	8,32	8,92	8,00	8,00	8,40	7,28	1,76	1,44	1,20
filtriert	8,16	8,24	7,76	8,16	8,28	7,88	5,44	5,28	5,04
20.-21.8.	8,48	9,00	8,32	9,56	9,12	8,40	2,24	2,00	1,52
filtriert	8,60	8,96	8,40	8,64	8,64	8,24	5,68	5,72	5,44

1 = Sauerstoffgehalt des Wassers zu Beginn des Versuchs-
(Kontrollwert)

2 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der unverhüllten Flasche
nach dem Versuch - (Assimilation)

3 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der verhüllten Flasche
nach dem Versuch - (Atmung)

filtriert = Seewasser wurde zur Abtrennung des Netzplanktons
durch ein Planktonetz gegossen. Die Produktions-
werte stammen vom Nannoplankton.

Tabelle 6

Chlorophyllwerte aus der Herzogsbucht
in \ Chlorophyll/L. und mg Chl. unter 1 qm

Datum	0m	2 m	4m	mg Chl. unter 1 qm
2. 6.52	9,0	12,0	71,0	116
4. 6.52	16	13	84	142
20. 6.52	35	38	47	193
5. 7.52	10,5	10,2	82,5	103,4
18. 7.52	21	20,2	28	109,6
14. 8.52	11,2	18	40	98,4
29. 8.52	29	43	47	191
18. 9.52	65	120	57	427
19. 9.52	54	51	56	266
8.10.52	34	51	35	205
21.10.52	64	76	54	334
23.10.52	68	94	56	380
10.12.53	43	56	41	239
13.12.53	33,7	16,8	11,2	112,2
5. 6.54	22	20	21	105
8. 6.54	26	19	27	117
26. 7.54	18,7	78	108	301,4
27. 7.54	24	100	49	297
28. 7.54	19,5	63	112,6	277,6
29. 7.54	55,2	90	80	350,4
30. 7.54	29,2	76	68	278,4
11. 8.54	22,5	36	92,4	209,4
12. 8.54	12,0	36	115	211
16. 8.54	29,2	32	72	194,4
17. 8.54	20,2	27,9	53,3	149,5
20. 8.54	15,8	28	73	160,6

2. J ä h r l i c h e U n t e r s c h i e d e

Die Wiederholung einiger Versuchsserien beschränkte sich auf die Sommermonate.

Nach der langen Untersuchungsperiode im August 1951 wurden im Juni 1952 während einer Versuchszeit von 5 Tagen Ergebnisse erzielt, die auf Grund ähnlicher meteorologischer Voraussetzungen mit denen des Vorjahres gut übereinstimmen (vgl. VI, S. 34, Tab. 5, S. 41). Der Sommer des Jahres 1953 fiel als Untersuchungszeit aus. Erst 1954 wurden wieder Assimilationsversuche im Juni, Juli und August durchgeführt. Ein Vergleich der assimilierten CO_2 -Mengen und der Energieausnützung aus dem Jahre 1954 läßt erkennen, daß die Assimilationstätigkeit im letzten Untersuchungsjahr geringer gewesen ist. Der niedrigere Wert der zum Aufbau organischer Substanz verwendeten CO_2 -Menge setzte natürlich auch die Ausnützung von 2⁰/oo auf durchschnittlich 1,5⁰/oo herab (V, VI, VII: S. 34/35).

Die qualitative Zusammensetzung des Phytoplanktons hat sich in diesen Jahren nicht geändert. Eine vergleichende Betrachtung der zur Untersuchungszeit vorhanden gewesenen Planktonmenge ermöglichen zahlreiche Chlorophyllbestimmungen, da auch der Chlorophyllgehalt eines gewissen Wasservolumens als Maß für die Planktonproduktivität im See herangezogen werden kann. Die folgende Tabelle bringt die Werte der assim. CO_2 -Mengen und des zur selben Zeit festgestellten Chlorophyllgehalts sowie die für den gleichen Tag ermittelte Ausnützungsquote.

Datum	mg CO_2 /24 St. unter 1 cm	Chl. unter 1 cm	Ausnützung °/oo
1.VIII.51	0,505	16,2	1,26
2.VI. 52	0,624	12,6	1,86
4.VI. 52	0,794	14,2	1,72
20.VI. 52	0,814	19,3	2,38
5.VII. 52	0,748	10,3	1,84

Forts.n.S.

5.VI. 54	0,341	10,5	1,48
8.VI. 54	0,534	11,7	1,22
26.VII. 54	0,473	30,1	1,39
27.VII. 54	0,594	29,2	1,59
28.VII. 54	0,583	27,7	1,92
29.VII. 54	0,594	35,0	2,12
30.VII. 54	0,435	27,8	1,25
11.VIII.54	0,781	20,9	1,66
12.VIII.54	0,899	21,1	2,09
16.VIII.54	0,332	19,4	1,57
17.VIII.54	0,484	14,9	1,23
20.VIII.54	0,390	16,0	1,14

Wir erkennen, daß sich im Juni 1952 das Mengenverhältnis $\text{assim.CO}_2/\text{Chlorophyll}$ gegenüber dem Augustwert 1951 nicht verändert hat (Chlorophyllwert aus Gessner 1953). Die mittlere Ausnützungsquote betrug ebenfalls ca. 2°/oo.

Die Juniwerte 2 Jahre später zeigen jedoch eine erhebliche Verringerung der Planktonproduktion. Wir dürfen annehmen, daß sie in diesem Fall auf eine schwächere Phytoplanktonentwicklung infolge des verregneten Frühsommers 1954 zurückzuführen ist, denn in diesem Jahr war die umgesetzte CO_2 -Menge im Vergleich zu den Ergebnissen von 1952 bedeutend kleiner. Dem entspricht auch ein geringerer Chlorophyllgehalt.

Die Untersuchungstage im Jahre 1954 fielen in die Zeit der Sommerstagnation, so daß es nahe liegt, die niedrige Produktions- und Ausnützungsgröße auf eine starke Nährstoffverarmung des Hypolimnions zurückzuführen. Gegen diese Überlegung scheinen die auffallend hohen Chlorophyllwerte vom 26.VII. bis 30.VII.54 (Tab.6) zu sprechen. An diesen Tagen wurden durchschnittlich die doppelten Chlorophyllmengen unter 1 qcm gemessen wie im Sommer 1952. Hohe Werte lieferten vor allem die Wasserproben aus 2m und 4m Tiefe. Ähnliche Beobachtungen machte Gessner in der Herzogsbucht zur selben Jahreszeit 1951 (Gessner 1953).

dieser
Zur Erklärung von den übrigen Versuchsserien abweichenden Erscheinung können wir uns nur auf Vermutungen stützen, da

Versuche für die Zeit vom 8.VI. bis 26.VII. fehlen. In dieser Zwischenzeit, vor allem vor Beginn der Juli-Versuchsserie, dürfte sich das Phytoplankton sehr stark vermehrt haben, so daß noch einige Wochen später die intensive Planktonentfaltung in den hohen Chlorophyllwerten zu Tage trat. Von Mitte August an verringerten sich die Chlorophyllmengen wieder merklich.

Wie läßt sich nun demgegenüber die geringe Assimilationsleistung vom 26.VII.-30.VII. erklären?

Es ist bekannt, daß Massenentfaltungen des Phytoplanktons infolge der Kurzlebigkeit der meisten Arten in der Regel nur von beschränkter Dauer sind. Bald werden einzelne Individuen zu altern beginnen und ihre Lebenstätigkeiten verlangsamen, bis sie endlich ganz absterben. Diese Organismen sind an der Assimilation nur wenig oder überhaupt nicht mehr beteiligt, obwohl ihre Körper mit einbezogen werden. In dieses Altersstadium könnte nun ein Teil des Phytoplanktons getreten sein, auf das die Ergebnisse vom 26.VII. - 30.VII.⁵⁴ zurückzuführen sind. Dazu kommt, daß sich eine chemische Veränderung des Chlorophylls in den im Abbau begriffenen toten Zellen erst dann bei der Messung im Photometer auszuwirken beginnt, wenn die Zerfallsprodukte nicht mehr in den Absorptionsbereich des verwendeten Filters S66 fallen, der eine verhältnismäßig große Filterbreite besitzt.

Wie rasch sich der Zerfall der Pigmente im freien Wasser vollzieht, konnte nicht nachgeprüft werden. Gessner (1944) stellte an dunkel aufbewahrten Wasserproben fest, daß sich erst nach 4 Tagen eine erhebliche Abnahme des Chlorophyllgehalts feststellen läßt, wenn das Phytoplankton nicht aus hinfälligen Flagellatenformen besteht.

Aus den zwischen Chlorophyllgehalt und Planktonmenge einer bestimmten Wassermenge gefundenen Abweichungen schließt Gillbricht (1952), daß ein großer Teil des Chlorophylls nicht an das Phytoplankton, sondern wahrscheinlich an den Detritus gebunden ist und so ein höherer Chlorophyllgehalt der Planktonphyten vorgetäuscht wird, als tatsächlich in lebenden Organismen enthalten ist. Wie weit sich diese an Meereswasserschöpfungen gemachten Feststellungen auf Binnengewässer übertragen lassen, bleibt offen.

+) - Stoffe und damit das Chlorophyll gerade erst in den Abbauprozess

Zu Beginn der Versuchsserie im August 1954 war der Chlorophyllgehalt nur wenig höher als am 1.8.1951. Auch das Verhältnis $\text{assim.CO}_2\text{-Menge/Chlorophyllgehalt}$ entspricht demjenigen des Vergleichsjahres. Vom 11.-20.8.54 erfuhr die Photosynthese eine zunehmende Schwächung, so daß die assimilatorische Leistung im Mittel nicht höher liegt als 6 Wochen zuvor. Dadurch wurde auch die Ausnützung bis auf durchschnittlich $1,53^\circ/\text{oo}$ vermindert. Der Chlorophyllgehalt nahm während der gleichen Zeit ebenfalls allmählich ab und betrug im Mittel $18,4\%$ unter 1 cm^2 . Auch dieser Wert stimmt gut mit den von Gessner 1951 in der Herzogsbucht festgestellten Chlorophyllmengen überein. (Gessner 1953).

Auf Grund der vorliegenden Untersuchungen dürfen wir also folgern, daß jährliche Unterschiede in der Ausnützung der Sonnenenergie durch das Phytoplankton bei hintereinanderliegenden Jahren nicht ins Gewicht fallen. In den Sommermonaten des Jahres 1954 betrugen sie in der Herzogsbucht des Klostersees gegenüber 1952 und 1951 etwa $0,5^\circ/\text{oo}$.

VI. Die Ausnutzung der Sonnenenergie im stabil geschichteten See zur Zeit der Sommerstagnation.

Die weitaus größte Anzahl der Assimilationsuntersuchungen zur Feststellung der Energieausnutzung durch das Phytoplankton wurde in der Herzogsbucht durchgeführt, da hier die Boje mit der Aufhängevorrichtung der Flaschen immer an der gleichen Stelle im Seeboden verankert werden konnte, und die Arbeitsbedingungen günstiger waren als im max. 16m tiefen Hauptbecken des Klostersees (kürzere Anfahrtszeit mit dem Ruderboot, kein Abtreiben und Mitschleifen der Boje bei stürmischem Wetter).

Zur Beantwortung der Frage, ob die Ergebnisse aus der Herzogsbucht für den ganzen Klostersee Gültigkeit besitzen, sollte eine im Hauptbecken durchgeführte Versuchsreihe dienen. Dazu wurde die Aufhängevorrichtung in der Mitte des Hauptbeckens in 12m Tiefe verankert. Die Untersuchungsmethode war die gleiche wie in der Herzogsbucht. An den Untersuchungstagen befand sich die Sprungschicht in 6,5 - 7 m Tiefe. In den darunter gelegenen hypolimnischen Wasserschichten wurde mit der Winkler-Methode in 8m Tiefe 0,08 mg O_2 /L, in 10m 0,02 mg O_2 /L gefunden. In 11m Tiefe ließ sich auf diese Weise kein Sauerstoff mehr nachweisen. Die Exposition von Wasser aus 8m und 10m Tiefe brachte deshalb keine Resultate. Um zu sehen, ob in dieser Region noch Assimilation unter O_2 -Abscheidung möglich ist, wurde Wasser aus 3m bzw. 4m Tiefe in die Flaschen gefüllt und diese 6, 8 und 10 m hinabgesenkt. Dabei ist zu bedenken, daß nun das Plankton aus dem 17°C (6m) warmen Epilimnion während der 24stündigen Versuchsdauer einer 4°C - 7°C kälteren Temperatur ausgesetzt worden war, die wahrscheinlich die Assimilationsintensität beeinflusst hat.

Während in einem fast homothermen Epilimnion der Lichtgehalt des gesamten Phytoplanktons gleich ist bzw. der halben Tiefe dieser Wasserschicht entspricht, beginnt in einem eutrophen See im Metalimnion bereits die Dämmerregion. Sie reicht bis in jene Tiefen, in denen die Lichtintensität zu einer meßbaren CO_2 -Assimilation gerade noch ausreicht. Im Klostersee beginnt diese dysphotische Region etwa bei 6m. Doch auch in 10m Tiefe

war mit Phytoplankton aus der 6m-Schicht noch eine ganz schwache Assimilation zu beobachten.

Die Werte der täglichen Sauerstoffproduktion in den einzelnen/^{Tiefen}lassen erkennen, daß eine wirksame Assimilation nur im Epilimnion bis 6m Tiefe möglich war (Tab.7, S.51).

Die gesamte täglich unter 1 cm^2 assimilierte CO_2 -Menge lag im Mittel um 0,1 mg niedriger als in der Herzogsbucht, so daß die Ausnützung nur ca. 1,4°/oo erreichte.

Die Planktonassimilation gestaltete sich also zur Untersuchungszeit im Hauptbecken etwas ungünstiger als in der Herzogsbucht. Hier war die größte Chlorophyllmenge in der grundnahen 4m-Schicht zu finden; im Hauptbecken nahm sie erst in 8 - 10m Tiefe stark zu. In den übrigen Wasserschichten konnte eine ziemlich gleichmäßige Verteilung des Chlorophylls festgestellt werden. Vergleichen wir nicht die Literwerte, sondern die Chlorophyllmengen unter 1 m^2 , so befanden sich am 17.8.54 in der Herzogsbucht 150 mg und am 18.8.54 im Hauptbecken (12m) 556 mg Chlorophyll unter der Flächeneinheit, da in letzteren noch die Werte aus dem Meta- u. Hypolimnion enthalten sind.

Wie die Assimilationsversuche ergaben, finden die aus der photischen Region abgesunkenen Organismen in diesen Tiefenschichten so extreme Lebensbedingungen, daß die Assimilation den Kompensationspunkt nicht mehr erreichen kann. Das Phytoplankton wird durch die stabile Schichtung des Metalimnions längere Zeit festgehalten und ist infolge Licht- und Sauerstoffmangels zu allmählichem Absterben verurteilt, falls es sich nicht um Arten mit mixotropher Ernährungsweise handelt. Im Hypolimnion finden in der Mehrzahl nur anaerobe Organismen zusagende Lebensbedingungen. Teilweise sind sie auch zur Photosynthese befähigt, wie die Purpurbakterie *Thiopedia rosea*, die im Klostersee meist im August eine überaus starke Entwicklung aufweist. Zur Bestimmung dieser assimilatorischen Leistung kann wegen der geringen O_2 -Spannung nur die Messung der direkten CO_2 -Abnahme oder der pH-Änderung angewandt werden. Der grüne, nicht an Plastiden gebundene Assimilationsfarbstoff der Purpurbakterien, das Bacteriochlorophyll, hat fast den gleichen

spektralen Absorptionsbereich wie Chlorophyll a aus den Algen, so daß das Chlorophyllmaximum des Hauptbeckens in 10 m Tiefe wohl doch zum größten Teil an lebende Organismen gebunden sein dürfte.

Es ist anzunehmen, daß im Hinblick auf die Ausnützung der gesamten auf die Wasseroberfläche auftreffenden Strahlung der Assimilation der *Thiopedia rosea* im Vergleich zur Lichtregion nur geringe Bedeutung zukommt. Auch wenn wir diese mit der Winkler-Methode nicht erfaßbare Assimilation bei der Berechnung der Ausnützung berücksichtigen, würden sich die festgestellten Werte nur unerheblich vergrößern (Tab.8, S.52).

Daraus ergibt sich die Folgerung, daß dem Hauptbecken und der Herzogsbucht des Klostersees trotz verschiedener morphologischer Voraussetzungen im allgemeinen gleiche Produktions- und Ausnutzungsgrößen zukommen und wir die in der Herzogsbucht gefundenen Ergebnisse ohne Vorbehalt auf den ganzen Klostersee ausdehnen können.

Tabelle 7

Sauerstoffproduktion im Hauptbecken des Klostersees 1954
in O₂ mg/L

Tiefe		°C	13.-14.8.	°C	15.-16.8.	°C	18.-19.8.
0m	1	21,4	9,36		9,20	20,4	9,44
	2		9,32		9,52		9,56
	3		8,48		8,96		9,04
2m	1	21	9,12		9,28	20,4	9,28
	2		9,60		9,28		9,68
	3		8,80		8,88		9,20
4m	1	20	8,88		9,44	19,8	9,00
	2		9,00		9,28		8,88
	3		8,48		8,96		8,48
6m	1	17,4	6,24		4,16	17,2	2,20
	2		5,76		3,92		2,24
	3		5,52		3,80		2,08
8m	1	12,4	6,24		9,52	13,2	4,44
	2		5,12		9,36		4,36
	3		5,12		9,28		4,28
10m	1	10,9			9,44	10,1	4,52
	2				9,28		4,44
	3				9,20		4,40
Gesamtassimilation							
in mg CO ₂ /24 St.			0.529		0.396		0,371
unter 1 qcm							
Strahlung in							
cal/qcm/24St.			1153,50		527,65		927,72
Ausnützung in ‰			1,17		1,92		1,03

- 1 = Sauerstoffgehalt des Wassers zu Beginn des Versuchs (Kontrollwert)
- 2 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der unverhüllten Flasche nach dem Versuch - (Assimilation)
- 3 = Sauerstoffgehalt des Wassers in der verhüllten Flasche nach dem Versuch - (Atmung)

Tabelle 8

Chlorophyllwerte aus dem Hauptbecken des Klostersees
in Chlorophyll/L. und mg Chl. unter 1 qm

Tiefe (m)	13.8.54	°C	15.8.54	18.8.54	°C
0	26,6	21,4	26,6	21,2	20,4
2	31	21	22,6	27	20,4
4	29,9	20	23	31	19,8
6	34,5	17,4	42	38,3	17,2
8	38,6	12,4		32,3	13,2
10	76,6	10,9		102,8	10,1
12	39				
mg Chl. unter 1qm	485			556	

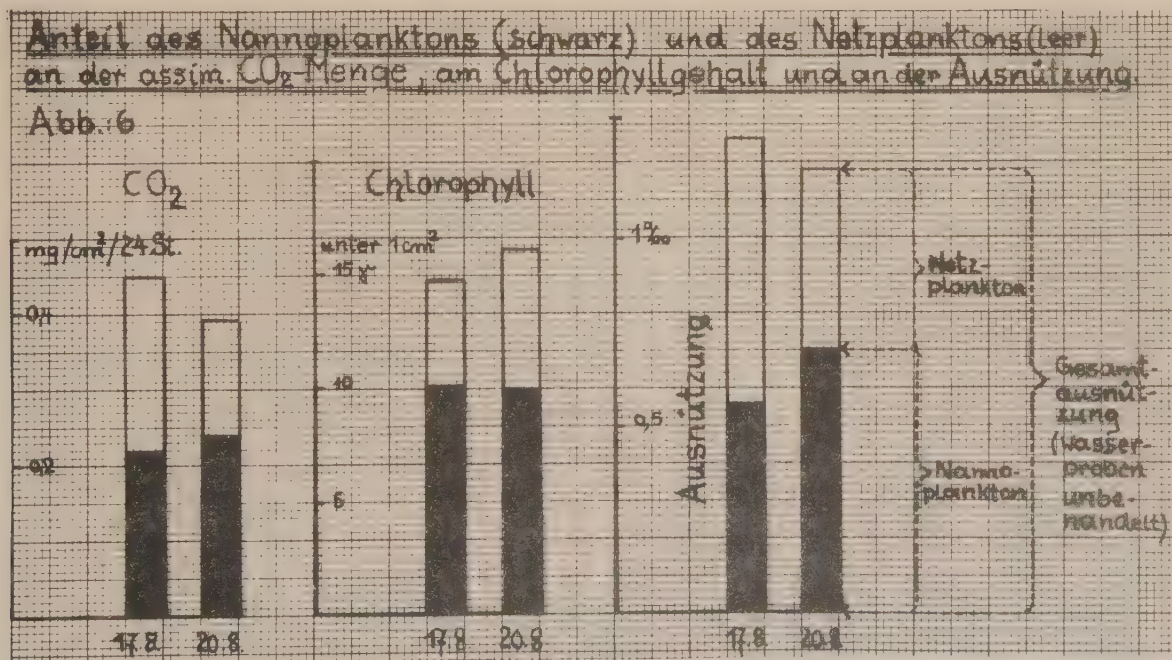
VII. Der Anteil des Nannoplanktons an der Ausnützung der Sonnenenergie

Bei der Feststellung der Produktivität eines Sees mit Hilfe von Chlorophyllbestimmungen wurde man auf die Bedeutung der kleinsten Algenformen aufmerksam, die noch durch ein Seidengazennetz Nr.20 hindurchgehen und je nach dem Charakter des Sees und der Jahreszeit einen überwiegenden Anteil des Phytoplanktons bilden. (Gessner1944).

Um den Anteil des Nannoplanktons an der Ausnützung zu ermitteln, wurde am 17.8. und 20.8.54 neben den regulären Assimilationsversuchen Seewasser über ein feines Planktonnetz(68 Fäden/1cm) in die Mischflasche gegossen und das Filtrat mit dem Nannoplankton in 3 500ccm-Flaschen abgefüllt. Mit diesen Proben wurde in der auf Seite 9 beschriebenen Weise verfahren.

Die Differenz der Chlorophyll- u. O_2 -Werte zwischen der unfiltrierten und der filtrierten Wasserprobe ergibt den Anteil des Netzplanktons. Dazu gehören jene Arten, die bei qualitativen Planktonuntersuchungen infolge ihrer Größe oder sperrigen Formen im Netz hängen bleiben und oft eine starke Anhäufung vortäuschen.

In der folgenden Abbildung und in der Tab. 9, S. 55 sind die Ergebnisse dieser Versuche dargestellt.



Sie zeigen, daß die O_2 -Produktion des Nannoplanktons an den Untersuchungstagen etwa die Hälfte der im unfiltrierten Wasser enthaltenen gesamten Phytoplanktonmenge betrug (in der Abb.6 in mg CO_2 /cm² umgerechnet). Die Unterschiede in der Gesamtassimilation

wurden durch die ungleichen Witterungsverhältnisse hervorgerufen, da sich der Planktophytenbestand vom 17.8. bis zum 20.8. nur wenig verändert hat. Die Chlorophyllmenge des Nannoplanktons war praktisch gleich geblieben, die des Netzplanktons hatte sich am 20.8. etwas erhöht.

Wie ein Vergleich der Chlorophyllmengen aus unfiltriertem und filtriertem Wasser in den einzelnen Tiefenzonen erkennen läßt, war die Hauptmenge des Nannoplanktons zur Untersuchungszeit in der 4m-Schicht vorhanden (Tab.9,S,55). Sie bestand größtenteils aus wenigzelligen Blaualgenkolonien (*Microcystis spec.*, *Merismopedia tenuissima*, *Aphanothece clathrata*) und winzigen Phytoflagellaten. Trotz der Anhäufung des Nannoplanktons in 4m Tiefe wurden hier geringere CO_2 -Mengen umgesetzt als in der 0m und 2m-Schicht. Das gleiche Verhalten kann man aus den Assimilationswerten der unveränderten Wasserproben herauslesen.

Obwohl am 17.8. eine höhere Strahlungsintensität als am 20.8. gemessen wurde, blieb die assimilatorische Leistung des Nannoplanktons an beiden Tagen auf gleicher Höhe, die Assimilation des gesamten Phytoplanktonbestandes war dagegen am 20.8. geringer. Am 17.8. verwertete das Nannoplankton $0,53\text{‰}$, am 20.8. $0,71\text{‰}$ der Sonnenenergie. Im Vergleich zur Gesamtenergieausnützung beträgt der Anteil des Nannoplanktons in der Herzogsbucht etwa die Hälfte des Wertes vom gesamten Phytoplanktonbestand.

Diese Ausnützungsquote erscheint niedrig, wenn wir die entsprechenden Chlorophyllmengen des Nannoplanktons betrachten (Abb.6). Hier ergibt sich das Verhältnis Netzplankton zu Nannoplankton = 1 : 2, das einen höheren Energiegewinn erwarten läßt. Außerdem hat das Nannoplankton infolge seiner relativ großen Oberfläche die Möglichkeit eines intensiveren Stoffaustausches als das Netzplankton, so daß auch aus diesem Grund eine erhöhte Photosynthese denkbar wäre. Die Werte der assimilierten CO_2 -Mengen zeigen, daß dies an den Untersuchungstagen in der Herzogsbucht nicht der Fall war: das Nannoplankton setzte nicht wesentlich mehr Kohlenstoff um als das Netzplankton. So gesehen, scheinen die kleinsten Phytoplanktonformen hinsichtlich der Photosynthese und der solaren Energieausnützung gegenüber größeren Arten nicht begünstigt zu sein.

Tabelle 9

zur Ausnützung der Sonnenenergie durch das Nannoplankton

I. Sauerstoffproduktion in mg O₂/L./24St.

Tiefe		17.8.54		20.8.54	
		Wasserproben normal	filtriert	Wasserproben normal	filtriert
0m	1 +)	8,32	8,16	8,48	8,60
	2	8,92	8,24	9,00	8,96
	3	8,00	7,76	8,32	8,40
2m	1	8,00	8,16	8,56	8,64
	2	8,40	8,28	9,12	8,64
	3	7,28	7,88	8,40	8,24
4m	1	1,76	5,44	2,24	5,68
	2	1,44	5,28	2,00	5,72
	3	1,20	5,04	1,52	5,44
Gesamtass. unter 1 qcm in mg CO ₂ /24St.		0,448	0,226	0,390	0,245
Strahlung in cal/cm ² /24St,		1088,54		879,87	
Ausnützung in ‰		1.23	0,53	1.14	0.71

II. Chlorophyllmengen in χ Chlorophyll/L. und mg ^{Chl.} unter 1 qm

Tiefe	17.8.54		20.8.54	
	Wasserproben		Wasserproben	
	normal	filtriert	normal	filtriert
0m	20,2	16,6	15,8	12,7
2	27,9	19,5	28,0	23,4
4	53,3	30,6	73	29
mg Chl. unter 1 qm	149,5	102,8	160,6	101,2

*) 1 = Kontrollwert, 2 = Assimilation, 3 = Atmung

VIII. Der Anteil der Bodenflora an der Gesamtenergieausnutzung in der Herzogsbucht

Die produktionsbiologischen Untersuchungen zur Frage der solaren Energieausnutzung durch pflanzliche Mikroorganismen erstreckten sich bisher nur auf den Raum des freien Wassers. Die photosynthetische Leistung der chlorophyllführenden Bodenflora, die in der Regel das epilimnische Seebodenareal in den oberen 4 - 5 m besiedelt, blieb unberücksichtigt, da sich ihre quantitative Erfassung sehr schwierig gestaltet.

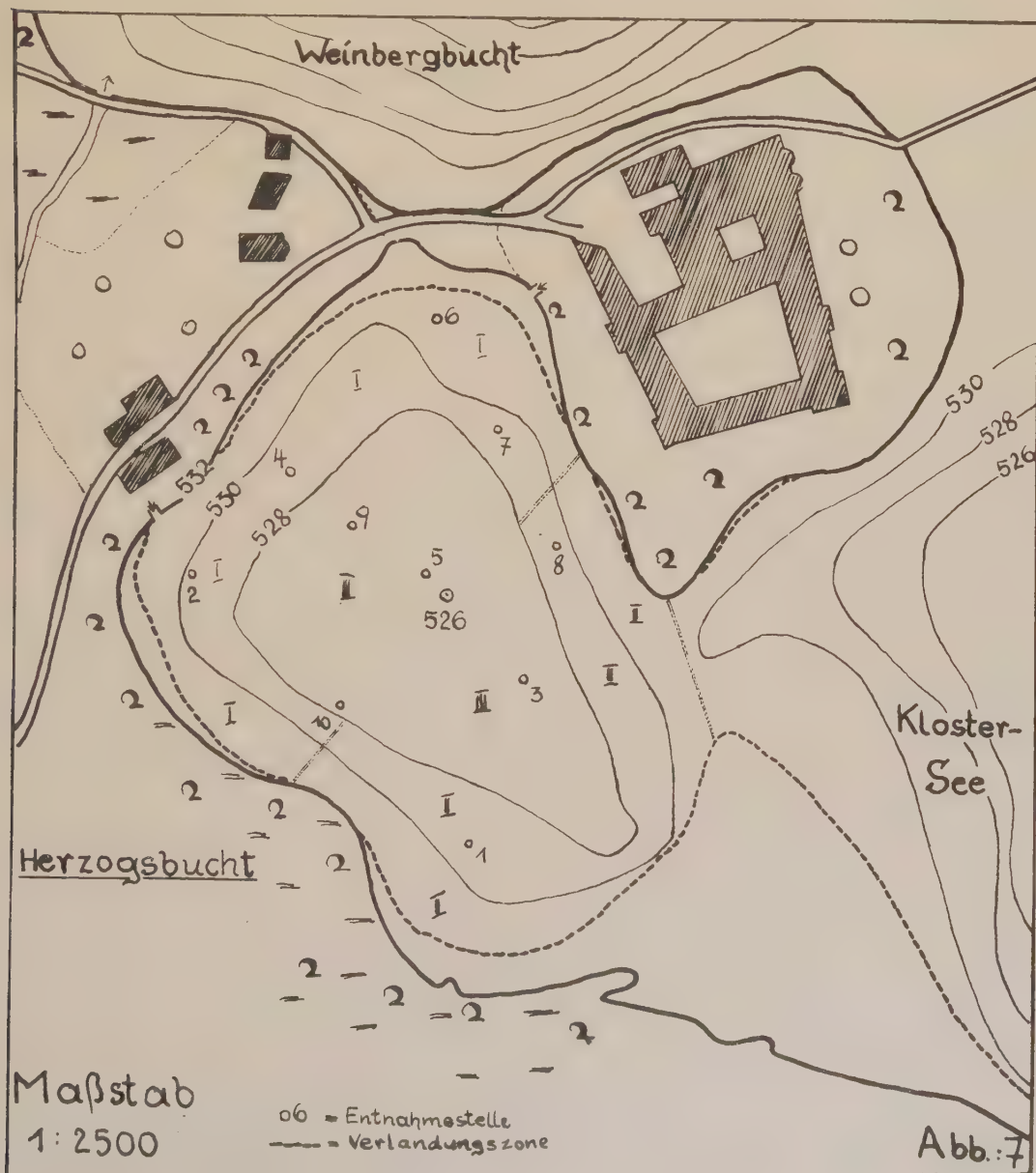
Infolge der geringen Tiefe der Herzogsbucht ist der Seeboden noch so gut beleuchtet, daß hier von den niederen Pflanzen in der Litoralzone bis 5m Tiefe die Blaualge Aphanothece microscopica sehr häufig anzutreffen ist. Die mit freiem Auge gut sichtbaren gallertigen Kolonien sind vom Sommer bis Spätherbst fast in jeder Bodenprobe enthalten, die mit dem Bodengreifer von Ekmann-Birge heraufgeholt wird.

Im übrigen ist der Seeboden des Klostersees im Gegensatz zu anderen Voralpenseen verhältnismäßig arm an Organismen (vergl. Gessner 1953). Das häufige Vorkommen von Aphanothece microscopica schien daher geeignet zu sein, die Frage nach der Menge erzeugter organischer Substanz in der Flächeneinheit auch auf die Bodenregion auszudehnen.

Zuerst war es notwendig, die quantitative Entfaltung dieser Art im Laufe eines Jahres festzustellen. Dazu wurden von 13.12.53 bis 6.11.54 in 4-6wöchigen Abständen (ausgenommen Januar bis Mai) an insgesamt 10 Stellen des Untersuchungsgebietes (arab.Ziffern in der topogr.Karte 1:2500) Schlammproben mit dem Bodengreifer (Grundfläche 15 x 15 cm) gefaßt und anschließend über einem Drahtsieb mit der Maschenweite ca. 1mm² mit reinem Wasser ausgespült. Die feinen Teilchen der lockeren braungrauen Gytta traten dabei durch das Netz hindurch, während größere Körper, so auch die Kolonien von Aphanothece micr. von einem Durchmesser von ca. 1mm an, zurückgehalten wurden. Die mit freiem Auge sichtbaren Gallertkügelchen konnten mit einer breiten Pinzette vom Netz abgelesen werden. Von jeder Bodengreiferprobe wurden Anzahl, Kugelvolumen und Chlorophyllgehalt der Blaualgenkolonien bestimmt. In der Regel wurden an

den in der Kartenskizze verzeichneten Entnahmestellen 2 - 3 Proben zur Mittelwertbildung herausgeholt und mit ihnen in der erwähnten Weise verfahren. Dabei zeigten Proben, die in Abständen von etwa 1,5 m entnommen wurden, meist befriedigende Übereinstimmung in Kolonienzahl, Volumen und Chlorophyllgehalt. So ergaben z.B. am 17.8.54 die drei Proben bei Punkt 6 folgende Werte:

6a	67Kol.;	2012,72 mm ³	;	269	Chl. ;	
b	62 "	2376,93 "	;	168	" ;	
c	19 "	215,36 "	;	16,9	" "	oder bei Punkt 7
7a	75 "	2638,91 "	;	285	" ;	
b	81 "	3045,76 "	;	248	" ;	



Die Kolonien der Schlammproben hatten verschiedene Größe und zeigten ungleichmäßige Färbung. Eingesammelt konnten nur jene Gallertkügelchen werden, die mindestens 1mm Durchmesser hatten, kleinere gingen verloren. Diese Fehlerquelle in der ziemlich langwierigen Aufarbeitung der Proben ließ sich nicht ausschalten. Im Gegensatz zu einem anderen Vorkommen im nahegelegenen Banseeabfluß, einem 70cm - 1m tiefen Bach, wo platte Kolonien von Aph.m. bis 2,5 cm groß gefunden wurden, erreichten die kugeligen Kolonien aus der Herzogsbucht nur einen Durchmesser von 8 mm. Selbst an den ergiebigsten Entnahmestellen waren sie nicht größer. Unter der 5 - 6m mächtigen Wasserschicht bei Punkt, 3, 5, 9 u. 10 erreichten sie höchstens 5mm. Es ist anzunehmen, daß im tiefsten Teil der Herzogsbucht ungünstigere Lebensbedingungen, vor allem schlechtere Lichtverhältnisse zur Größenabnahme der Aphanothece-Kolonien führen.

Die meisten Kolonien von Aph.m. waren infolge des hohen Chlorophyll- u. Phycocyangehalts dunkel- bis blaugrün gefärbt und die Zellen erfüllten die Gallertmasse bis zum Rand, andere dagegen waren heller. Bei jeder Bodenprobe konnten auch einige fast farblose Kolonien festgestellt werden. Es handelte sich hierbei um abgestorbene Kolonien, in denen die Einzelzellen mit den Farbstoffen sich größtenteils aufgelöst hatten, während die widerstandsfähigere Gallerte erhalten blieb.

Durch den Bodengreifer wird nur ein bestimmtes Bodenvolumen herausgehoben, dessen Schichten beim Ausleeren durcheinandergelassen. Deshalb war es nicht möglich, die Lagerung der Kolonien genauer festzustellen. Infolge ihres geringen spez.Gewichtes liegen sie in der Regel unmittelbar auf dem lockeren Schlamm. Es werden deshalb nicht nur die älteren Kolonien durch den natürlichen Alterungsvorgang ausbleichen, sondern auch jüngere Kolonien dann zum Absterben kommen, wenn sie gelegentlich in tiefere Schlammschichten geraten.

Die Menge dieser ausgebleichten Kolonien wechselte sehr stark. An den mäßig steilen Böschungen der Herzogsbucht bis in eine Tiefe von 4m erreichte sie höchstens 10 %. In dem von der 4m Isobathe begrenzten Mittelteil war der Prozentsatz wesentlich höher. Teilweise konnten von den dort gefundenen Kolonien überhaupt keine meßbaren Chlorophyllauszüge hergestellt werden. Außerdem war die

Gesamtzahl der Kolonien viel geringer als in der Randzone. In der Mitte der Bucht bei Punkt 5 wurden meist nur 1 - 2 Kolonien pro Bodenprobe gefunden. Die übrigen, nicht ganz so tiefen Entnahmestellen innerhalb der 4m-Isobathe waren etwas ergiebiger.

Die über die ganze Herzogsbucht verteilten 10 Entnahmestellen lieferten während der Untersuchungszeit sehr unterschiedliche Ausbeuten. Wie schon erwähnt, war die Koloniendichte in der Randzone größer als in der lichtärmeren Mitte. In etwa 2m Tiefe konnte bei Punkt 2 u. 6 von August bis November die stärkste Entfaltung von Aph.m. beobachtet werden. Dies hat seinen Grund in der dauernden Nährstoffzufuhr durch 2 Abwasserkanäle aus den benachbarten Wohngebäuden.

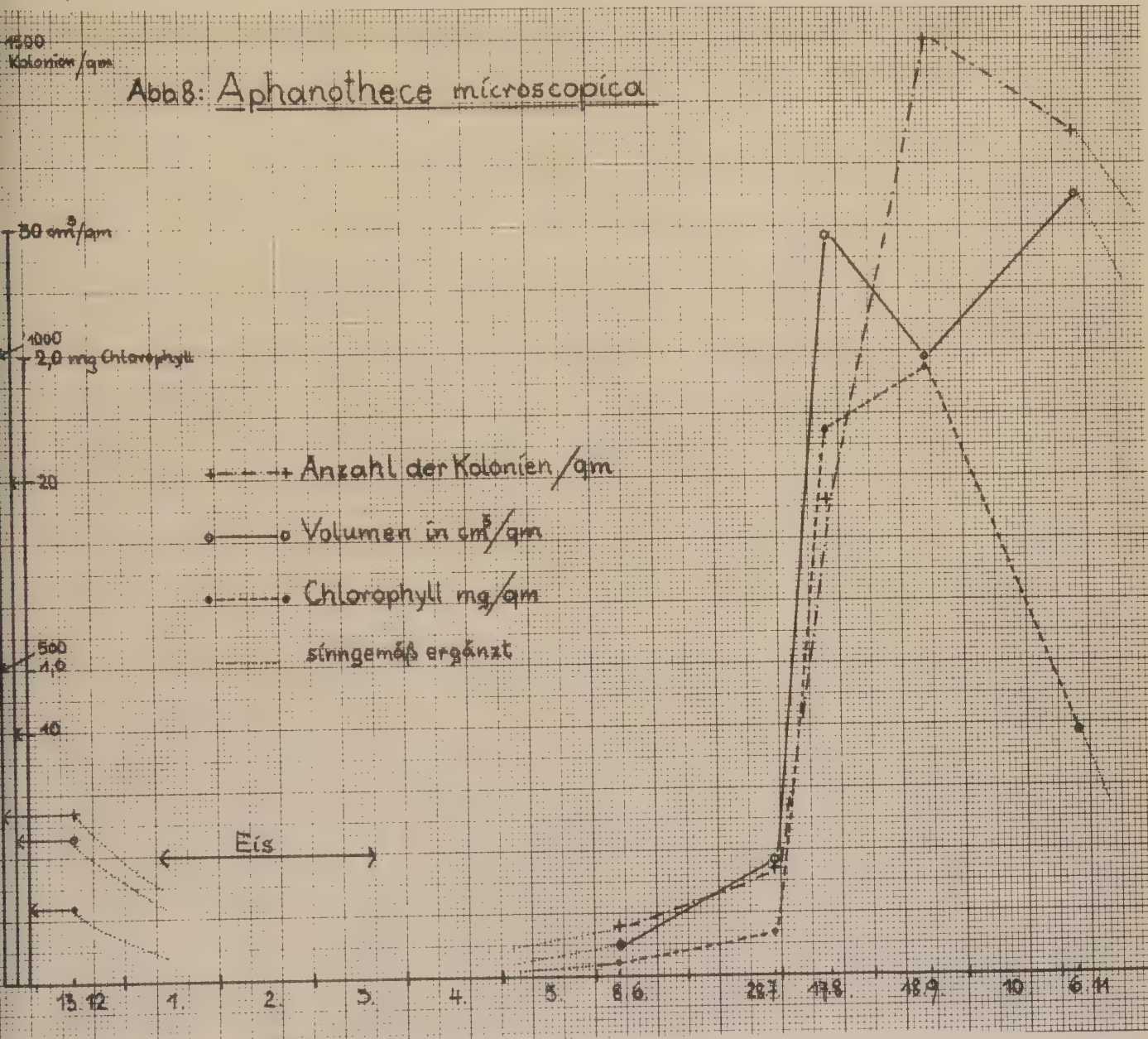
Zur Aufstellung einer Jahreskurve wurden die bei der Untersuchung der Bodenproben ermittelten Werte auf 1 qm bezogen. Da die Blaualgenkolonien sehr ungleichmäßig über den Grund der Herzogsbucht verteilt waren, mußte zunächst ihr Bodenareal planimetrisch vermessen und in Zonen ungefähr gleicher Koloniendichte eingeteilt werden. Die Gesamtfläche der Herzogsbucht (Om-Isobathe) beträgt 3,5 ha. Auf den Uferbänken ist besonders im südöstlichen Teil die Verlandung ziemlich weit fortgeschritten, so daß sich die freie Wasserfläche um 0,5 ha verkleinert. Die innere Grenze der Verlandungszone wurde dort gezogen (--- in der Kartenskizze), wo die Phragmites- und Scirpusbestände zu Ende gehen. Die Sumpfpflanzen erschwerten die Handhabung des Bodengreifers. Im Litoral war Aph.m. nur im nordwestlichen Abschnitt nachzuweisen. Deshalb wurde bei den Berechnungen nur jene Bodenfläche berücksichtigt, die unter der freien Wasseroberfläche liegt. Hier wachsen stellenweise noch Schwimmblattpflanzen und Submerse, unter denen Aph.m. schlechtere Entwicklungsmöglichkeiten vorfindet als auf dem von den höheren Pflanzen freien Seeboden. Dieser Verlust soll durch die in den Berechnungen nicht mit einbezogenen Vorkommen zwischen den Sumpfpflanzen der Uferbank als ausgeglichen gelten.

Um der unterschiedlichen Verteilung der Kolonien gerecht zu werden, wurde das 3 ha große Bodenareal in 3 Felder zerlegt :

I = innere Zone bis 4m:	0,8 ha;	Entnahmestellen	2,4,6,7.
II = äußere Zone bis 4m:	1,0 ha;	"	1,8.
III = 4m Isobathe	: 1,2 ha;	"	3,5,9,10

Aus den auf den qm bezogenen Mittelwerten sämtlicher Entnahmestellen eines Feldes wurde nochmals der Durchschnitt für Kolonienzahl, Volumen und Chlorophyllgehalt ermittelt und anschließend auf die

Fläche desselben Feldes umgerechnet. Die Summe der Werte von Feld I, II u. III ergibt dann jeweils den Wert für das gesamte Bodenareal der Herzogsbucht (Tab. 10, S. 63).



In der vorliegenden Jahreskurve sind die Anzahl der Kolonien sowie ihr Volumen und Chlorophyllgehalt pro gm eingetragen. Das Entwicklungsmaximum lag 1954, wie wir deutlich erkennen können, in den Monaten August und September. Zu dieser Zeit hatte sich die Vermehrungs- und Wachstumsrate gegenüber den vorhergehenden Monaten um ein Vielfaches erhöht. Trotzdem handelt es sich bei Aph.m. nicht um eine ausgesprochene polytherme Art, da sie auch im November und Dezember nicht völlig verschwunden bzw. in das Ruhestadium übergegangen war. Zur größten Entfaltung scheinen jedoch die sommerlichen Temperaturen über dem Grund ($17^\circ - 18^\circ\text{C}$) unbedingt erforderlich zu sein. Demgegenüber wirkte sich der Lichtfaktor weniger produk-

tionsbestimmend aus. Im Spätsommer und Herbst steht die Bodenflora noch mehr als das Plankton unter schlechteren Lichtbedingungen als im Frühling und Frühsommer. Gerade in den Tiefenzonen der Seen ist der Tag gegen Ende des Jahres infolge der schräg einfallenden Strahlung und der verstärkten Reflexion kürzer als in den oberen Wasserschichten.

Ein erheblicher Abfall der Produktion, wie ihn die Abnahme des Chlorophylls deutlich werden läßt, trat erst Anfang November ein. Die Chlorophyllmenge vom 13.12.53 war aber immer noch höher als diejenige im Juli 54. Über die ersten 5 Monate des Jahres 1954, in denen Untersuchungen nicht möglich waren, kann keine endgültige Aussage gemacht werden. Es ist jedoch unwahrscheinlich, daß sofort nach dem Abtauen der Eisdecke eine stärkere Entwicklung von Aph.m. einsetzte als am 8.6.54 beobachtet wurde. An diesem Tag konnten nur bei Punkt 1 im Mittel 3 Kolonien mit $42,24 \text{ mm}^3$ und $0,2 \%$ Chlorophyll festgestellt werden. An den übrigen Entnahmestellen waren selbst farblose Kolonien nicht aufzufinden, so daß die Keimung der Dauerzellen frühestens Ende Mai begonnen haben dürfte.

Aus den 3 Kurven der Abbildung S.60 lassen sich einige bemerkenswerte Tatsachen herauslesen. Die Veränderungen in der Anzahl der Kolonien zeigen die Vermehrungsrate auf, während Schwankungen in der Masse der Kolonien, festgestellt als Kugelvolumen in cm^3/qm , die Wachstumsrate erkennen lassen. Die Zu- oder Abnahme des Chlorophyllgehalts ermöglicht außerdem einen Einblick in den jeweiligen Aktivitätszustand und in die Produktionsfähigkeit der Blaualge.

Von Juni bis Juli nahmen Kolonienzahl und Chlorophyllgehalt gleichmäßig zu. Die Volumenvergrößerung war etwas stärker, doch erst in den folgenden Wochen bis zum 17.8. setzte sprunghaft das Produktionsoptimum ein. In dieser kurzen Zeit vervierfachte sich die Zahl der Kolonien und das Volumen wuchs um das siebenfache des Wertes vom 28.7. Einen sehr steilen Anstieg zeigt auch die Chlorophyllmenge. Sie war am 17.8. zwölfmal so hoch als 20 Tage zuvor. (Tab.10, S.64).

Die interessantesten Werte lieferten die Bodenproben am 18.9. Mit einer Kolonienzahl von $1500/\text{qm}$ erreichte Aph.m. die stärkste Vermehrung des Jahres. Vom 28.7. bis 18.9. war die

Vermehrungsrate praktisch gleich geblieben, wie der fast geradlinige Anstieg der Kurve beweist. Das Volumen dieser Kolonien hielt nun nicht, wie man wohl erwarten könnte, mit der Vermehrung Schritt, sondern sank dagegen beträchtlich ab. Auch die Chlorophyllmenge hatte sich nur wenig vergrößert. Wie ist dies zu erklären?

In der Zeit vom 17.8. bis 18.9. überwog die Vermehrung der Kolonien die Vergrößerung schon vorhandener oder heranwachsender Zellverbände bei weitem. Es bildeten ^{sich} sehr viele kleine Kolonien, deren Volumen in seiner Gesamtheit geringer war als im August. In kleinen Zellverbänden sind weniger Einzelzellen vorhanden, so daß auch die Chlorophyllmenge nur wenig zunahm. In den folgenden Wochen der Monate September und Oktober war der Höhepunkt der Produktion von Aph.m. bereits überschritten. Die Kolonien wuchsen zwar noch heran, doch die Größe ihrer Masse reichte nur wenig über den Wert vom 17.8. hinaus. Die Vermehrung klang bereits ab und von der Gesamtheit dieser Blaualgen scheint nur mehr ein geringer Teil normal produktionsfähig gewesen zu sein, da die Chlorophyllmenge am 6.11. im Vergleich zu den anderen Werten desselben Tages sehr niedrig ausfiel. Bis auf das Volumen der Kolonien, lassen jetzt die übrigen Werte stark fallende Tendenz erkennen, so daß anzunehmen ist, daß Kolonienzahl und Chlorophyllgehalt vor allem ein ähnliches Ausmaß erreichten, wie im Jahr zuvor. Auch im Dezember war der Chlorophyllgehalt der Aphanothece-Kolonien noch verhältnismäßig hoch. Ein Beweis dafür, daß bei schwächsten Lichtintensitäten und einer Temperatur von 5°C für Aph.m. noch Existenzmöglichkeiten vorhanden sind. Die Eisdecke auf dem See dürfte auch in der Tiefe den Jahreszyklus dieser Blaualge beschließen.

Die Oberfläche der Schlammschicht, so weit sie noch ins Epilimnion reicht, beherbergt an autotrophen Mikroorganismen noch andere Cyanophyteenarten sowie Diatomeen und eine geringere Zahl von Chlorophyteen. Die festgestellte Produktionsgröße wird daher immer nur einen Bruchteil der von der assimilierenden Bodenflora erzeugten organischen Substanz darstellen.

Am 17.8.54 betrug die in den Kolonien eines qm enthaltene Chlorophyllmenge ca. 1% derjenigen aus dem Phytoplankton der darüberstehenden Wassermasse. Dieser Wert stammt aus der Hauptentwicklungszeit von Aphanothece microscopica. Im allgemeinen wird diese eine Art aus dem Benthos die Produktivität der Herzogsbucht daher nur wenig beeinflussen.

Tabelle 10

zur Jahreskarve von Aphanöthece microscopica

I. Mittelwerte der in den Bodenproben der Entnahmestellen
enthaltenen Anzahl von Aphanöthece-Kolonien, ihr Volumen
und Chlorophyllgehalt.

Entnahme- stelle	13.12.1953			8.6.1954			28.7.1954		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	5	177,65	6,5	3	42,24	0	3	72,08	4,5
2	4	146,36	0,6	-	-	-	23	560,32	19,5
3	8	112,66	7,0	-	-	-	-	-	-
4	7	41,67	1,0	-	-	-	6	186,39	9,75
5	-	-	-	-	-	-	3	83,61	0
6	4	74,86	0,8	-	-	-	3	1,56	0
7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-

	17.8.1954			18.9.1954			6.11.1954		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c
1	7	107,19	6,5	25	403,19	21,6	12	105,49	0
2	27	938,71	52,5	46	559,76	29,3	101	3564,0	205,12
3	2	8,3	0	9	121,8	0	6	135,82	0
4	15	449,78	11,5	11	258,6	12,6	3	76,54	4,0
5	1	4,15	0	2	8,3	0	-	-	-
6	49	1531,67	151,3	94	1965,12	232,5	272	5445,96	55,57
7	78	2842,33	266,5	86	2670,1	250,4	16	263,34	42,0
8	21	1078,47	34,5	24	505,65	27,2	4	42,79	0
9	8	386,69	0	3	12,45	0	8	258,22	31,2
10	3	224,5	0	35	781,05	32,5	1	112,04	7,5

a = Anzahl der Kolonien / 225 cm²

b = Volumen in mm³

c = Chlorophyll in %

II. Anzahl, Volumen und Chlorophyllgehalt der Aphanothece-
Kolonien auf einem qm Seeboden der Herzogsbucht.

Datum	Kolonienzahl	Volumen (cm ³)	Chlorophyll (mg)
13.12.53	276	5,6	0,23
8. 6.54	80	1,1	0,053
28.7.54	176,5	4,4	0,14
17.8.54	767,8	28,6	1,74
18.9.54	1500	23,3	1,8
6.11.54	1358	31,8	0,78

X. D i s k u s s i o n d e r E r g e b n i s s e

Wenn wir die erzielten Ergebnisse jenen von anderen Arbeiten gegenüberstellen, in denen ebenfalls das Problem der Energieausnützung durch das Phytoplankton aufgegriffen wurde, so erstreckt sich der Vergleich im wesentlichen auf die angewandte Methode sowie auf Art und Produktivität des Gewässers.

Von den zahlreichen Forschern, welche die Planktonproduktion direkt durch die assimilatorische Leistung zu erfassen suchten und dazu Wasserproben in verschiedenen Tiefen exponierten, um die Änderung des Sauerstoffgehalts nach einer bestimmten Zeit feststellen zu können, haben Schomer und Juday (1937) als Erste die Energieverwertung durch Algenkulturen (*Chlorella* u. *Coccomyxa*) in mehreren Seen Wisconsins untersucht. Sie berechneten jedoch nicht die prozentuale Ausnützung der gesamten ^{zur} Untersuchungszeit auf die Wasseroberfläche auftreffenden Strahlung, sondern stellten die Ausnützung der in einer gewissen Tiefe noch vorhandenen Lichtintensität in Abhängigkeit von der Transparenz und Färbung des Wassers fest.

Auf Grund einer umfassenden Bestimmung der Biomasse des Mendota-Lake (Wisconsin), die in der Flora und Fauna des Bodens, der Uferzonen und im tierischen und pflanzlichen Plankton enthalten war, wurde es Juday (1940) möglich, die Frage zu stellen, welcher Teil der im Laufe eines Jahres eingestrahlten Sonnenenergie zum Aufbau der organischen Substanz verwendet worden ist. Als Maß für die gesamte jährliche Produktion diente die in der Volumeneinheit festgestellte Trockensubstanz. Zur Gewinnung des Phytoplanktons wurde eine abgemessene Wassermenge zentrifugiert, die vorher durch ein Planktonnetz filtriert worden war, um das Zooplankton abzutrennen.

Die während einer Vegetationsperiode gebildete und als Trockenmasse erfaßte organische Substanz entspricht jedoch nicht der gesamten aufgenommenen und verwerteten Sonnenenergie, denn alle Pflanzen haben bereits einen Teil der mit Hilfe des Lichts aufgebauten Kohlehydrate veratmet, um daraus die Energie zur Aufrechterhaltung des Betriebsstoffwechsels zu gewinnen. Nach Angaben Judays (1940) beträgt die Menge der hierbei verbrauchten organischen Stoffe bei einigen Algen

ein Drittel der gesamten bei der Assimilation aufgebauten Substanz. Es wird angenommen, daß sich die höheren Wasserpflanzen ähnlich verhalten.

Eine weitere wichtige Größe in diesen Berechnungen ist die Zeiteinheit, in der die Neubildung organischer Substanz erfolgt. Um darüber etwas aussagen zu können, ist eine genaue Kenntnis der Lebensdauer des pflanzlichen Planktons monnöten. Untersuchungen Grims (1939) ergaben, daß der Lebenszyklus der Planktonalgen Stunden bis Tage betragen kann. Im Wasser beeinflussen vor allem Temperatur, Lichtintensität und biotische Faktoren den Umtrieb. Für den Mendote-Lake nimmt C. Juday (1940) unter Berücksichtigung der rascheren Neubildung der organischen Substanz von April bis Oktober einen "Turn-over" von einer Woche an. Daraus ergibt sich, wenn die Bodenflora in die Berechnungen miteinbezogen wird, eine mittlere Energieausnützung der auf die Wasseroberfläche auftreffenden Strahlung von 1 %. Ein "Turn-over" von 2 Wochen käme einer Ausnützung von 0,5 % gleich.

Auf ganz anderer Grundlage beruhen die Berechnungen von Manning und Juday (1941) zur Ermittlung der Energieausbeute. Sie verwendeten hierzu erstmals die Chlorophyllbestimmung, da sich auch aus der Kenntnis der vertikalen Chlorophyllverteilung und der Assimilationsraten, die für die Lichtintensitäten in den einzelnen Tiefenzonen zu erwarten sind, die Produktion berechnen läßt. So wurde z.B. für den Weber-Lake am 1. August 1939 der Assimilationswert zu der während des Tages eingestrahlten Energiemenge in Beziehung gesetzt und eine Energieausnützung von 0,12 % erhalten.

Umfangreiche Chlorophyllbestimmungen von Wasserproben aus dem Weßlinger See dienten Gessner (1949) ebenfalls zur Beantwortung dieser Frage. Da keine Lichtmessungen durchgeführt wurden, sind die Assimilationszahlen (AZ 10 für das Epilimnion u. AZ 2 für das Hypolimnion) nur angenommen. Bei Abschätzung aller Faktoren kommt Gessner zu der Feststellung, daß auch im Weßlinger See die Energieausbeute zwischen 0,5 und 1 % liegen dürfte.

Zur Ermittlung der Energieausnützung durch das marine Phytoplankton beschritt Kalle (1948) einen neuen Weg. Aus dem jährlichen Phosphor-Verbrauch der obersten, 15 m mächtigen Wasserschicht wurde auf die Menge der zur selben Zeit entstandenen organischen Substanz geschlossen. Als Bezugswert wurde ein Gehalt von 0,6 %P in der org. Substanz angenommen. Die jährliche Gesamtproduktion verbraucht auf Grund dieser Berechnung nur 0,4 ‰ der Gesamtstrahlung. Kalle weist daraufhin, daß es sich hierbei um einen Minimalwert handelt, da man den Umtrieb des Phosphors nicht kennt.

Welche Bedeutung kommt nun der bei unseren Untersuchungen angewandten Methode zu ?

Die Ermittlung der Sauerstoffproduktion von belichteten Wasserproben und der für den gleichen Zeitabschnitt festgestellten Sauerstoffabnahme in verdunkelten Gefäßen gestattet eine direkte Bestimmung der Photosynthese, da die Summe der Sauerwerte beider Wasserproben der gesamten, während der Versuchszeit assimilierten CO_2 -Menge entspricht. Die analytische Bestimmung des in Wasser gelösten Sauerstoffs nach Winkler gehört, bei Beachtung aller möglichen Fehlerquellen, zu den einfachsten und exaktesten Methoden der Wasseruntersuchung.

Diese beiden Tatsachen sprechen für eine Produktionsbestimmung auf Grund der Sauerstoffabscheidung. Bei den übrigen, oben erwähnten Methoden, die zur Feststellung der Energieverwertung Verwendung gefunden haben, wird aus der C-Menge der Trockensubstanz, dem Chlorophyll- und Phosphorgehalt auf den Wert der primär erzeugten organischen Substanz geschlossen. Obwohl diese Verfahren genauestens durchgearbeitet sind, können auch hier gewisse Umstände die Ergebnisse beeinträchtigen. Die in den Wisconsin-Seen ausgeführten Bestimmungen der Biomasse in der Volumeneinheit durch Zentrifugieren einer bestimmten Wassermenge enthalten einen etwas erhöhten Endwert der Ausbeute, da nach der Abtrennung des Zooplanktons nicht nur das Phytoplankton, sondern auch der größte Teil der suspendierten organischen und anorganischen Schwebstoffe sedimentiert wird. Dazu kommt, daß beim Auftreten von Wasserblüten Zentrifugieren nicht zum Ziel führt, weil diese Organismen

leichter als Wasser sind. Ebenso ist der Umtrieb des Phytoplanktons eine nicht ganz gesicherte Größe.

Der Chlorophyllgehalt eines Sees kann in den Wintermonaten und im Hypolimnion nur mit Einschränkungen als Maß für die Planktonproduktion angesehen werden. Auf Grund der in der Kieler Bucht beobachteten geringen Übereinstimmung zwischen Plankton-Volumen^{*)} nimmt Gillbricht (1952) an, daß ein erheblicher Teil des Chlorophylls wahrscheinlich nicht an die Organismen, sondern an Detritus gebunden ist. Bis jetzt liegen noch keine derartigen Beobachtungen für das Süßwasser vor, so daß wir nicht wissen, wie weit sie sich auf die Binnengewässer übertragen lassen. Würden sie bestätigt, so wären die auf die bisherige Weise ermittelten Chlorophyllmengen zu hoch angesetzt. Größenordnungsmäßig dürfte sich an den Werten jedoch nur wenig ändern.

Die Verwendung der P-Zehrung als Grundlage der Produktionsbestimmung schließt eine beachtenswerte Fehlerquelle ein, denn die Planktophyten nehmen mehr Phosphor aus dem umgebenden Wasser auf, als sie zum Aufbau der organischen Substanz benötigen. Das Ausmaß dieser Phosphorspeicherung ist nicht viel besser bekannt als die Umsatzgeschwindigkeit des P, die die Untersuchungsergebnisse Kalles den übrigen Berechnungen der Energieausbeute vergleichbar machen würde.

Die Assimilationsbestimmung auf Grund der Sauerstoffabscheidung besitzt trotz des Vorzugs der direkten Erfassung der Produktion einige Nachteile, die sich vor allem dann auszuwirken beginnen, wenn die Planktondichte so gering ist, daß nur eine mehrtägige Exposition meßbare Werte liefert. Man hat wiederholt eingewandt, daß wir nicht wissen, ob sich während einer langfristigen Exposition in der Flasche dieselben Vorgänge abspielen, wie im freien Wasser. Die Versuche zur Prüfung des Verhaltens des Phytoplanktons in einem abgeschlossenen Wasservolumen haben gezeigt, daß wir die Vorgänge im Versuchsgefäß nicht bedenkenlos denen des umgebenden Wassers gleichsetzen können. Doch sind die Fehler, die sich durch das Einschließen ergeben, wiederum nicht so groß, daß sie den Wert dieser Methode für Produktionsbestimmungen im See überhaupt in Frage stellen würden. Aus den Ergebnissen geht hervor, daß bereits bei einer 24stündigen Versuchs-

*) und Chlorophyllgehalt

zeit mit Assimilationsverlusten zu rechnen ist. Ihr Ausmaß wechselt sehr stark. Im Höchstfall beträgt die Schwächung der Assimilationsintensität während eines Tages ^{ein Viertel} etwa/der Tagesbilanz. Durch das Einschließen wird das Phytoplankton auch dem turbulenten Austausch des freien Wassers entzogen und sinkt in dem fast unbewegten Wasserraum der Flasche zu Boden. Dadurch verschlechtern sich die Lebensbedingungen und damit auch die Assimilation. Bei einer 24stündigen Versuchsdauer ist dieser Effekt normalerweise von geringer Bedeutung, dürfte aber bei längerer Exposition zunehmen. Er macht sich an der Wasseroberfläche nur an windigen Tagen bemerkbar.

Werden die Assimilationsversuche unter natürlichen Bedingungen durchgeführt, so lassen sich bei unserer Methode durch stichprobenartige Versuche natürlich keine eindeutigen Aussagen über die Produktivität des Gewässers machen. Denken wir nur an die ständig wechselnden Witterungsverhältnisse mit ihren unterschiedlichen Assimilationswerten. Zur Erzielung brauchbarer Ergebnisse müssen daher die Versuche immer über mehrere hintereinanderliegende Tage ausgedehnt werden. Darin liegt eine weitere Schwierigkeit: diese Methode läßt sich nicht zur Untersuchung abgelegener Seen heranziehen, da die zahlreichen Wasserproben nur über kurze Strecken transportiert werden können. In größeren Tiefen verhindern die geringe Sauerstoffproduktion infolge des Lichtmangels und die im Hypolimnion eutropher Seen vorhandenen minimalen Sauerstoffspannungen ihre Durchführung.

Mit der Einschränkung, daß die Versuchsdauer höchstens einen Tag beträgt und die Versuche über einen größeren Zeitabschnitt, etwa eine Woche, ausgedehnt werden, kann die Brauchbarkeit der angewandten Methode zur Ermittlung der Phytoplanktonproduktion durchaus bejaht werden.

Die Berechnungen von Juday (1940) und Gessner (1949) haben ergeben, daß das Phytoplankton beider untersuchter Seen imstande war, 0,5 - 1 % der jährlich auf die Wasseroberfläche auftreffenden Strahlung auszunützen. Wie läßt sich nun demgegenüber die für den Klostersee unter Berücksichtigung der jahreszeitlichen Schwankungen festgestellte Energieausnützung von 2,5⁰/oo erklären??

Obwohl es sich beim Klostersee um einen eutrophen See handelt, fällt sein Nährstoffreichtum gegenüber dem Mendota-Lake und dem Weßlinger See erheblich ab. Folgedessen ist auch die Planktondichte geringer als in beiden anderen Seen. Sehr deutlich treten diese Unterschiede in den Chlorophyllmengen zu Tage. Am 13. August 1942 wurden im Weßlinger See an der tiefsten Stelle 800 mg Chlorophyll unter 1 qm gefunden, während am 12.8.1954 in der Herzogsbucht des Klostersees nur 211 mg und im Hauptbecken (bis 12m Tiefe) 485 mg Chlorophyll unter 1 qm gemessen wurden. Selbst wenn wir geringe jährliche Abweichungen in Betracht ziehen, wie sie bei der Beeinflussung der Phytoplanktonverteilung durch meteorologische Faktoren nicht ausgeschlossen sind, beträgt die Produktivität der Herzogsbucht nur etwa ein Viertel von der des Weßlinger Sees. Da die Ausnützungsquote beider Seen im selben Verhältnis steht, wird unsere Annahme, daß der Klostersee weniger produktiv ist, bestätigt.

Manning und Juday (1941) ermittelten bei ihren Berechnungen der Ausnutzung der Sonnenenergie auf Grund von Chlorophyllbestimmungen im Weber-Lake am 1.8.1939 einen Energiegewinn von 0,12 %. Ein Wert, der in der Herzogsbucht auch am 31.7.1951 und am 30.7.1954 gefunden wurde. Im Weber-Lake waren dagegen zur Untersuchungszeit nur 50 mg Chlorophyll unter 1 qm vorhanden.

Aus den Zahlen von Manning und Juday geht weiter hervor, daß die Phytoplanktonproduktion in hohem Maß von der Transparenz des Wassers abhängig ist, so daß die Umsetzung der Lichtenergie in die in der organischen Substanz gebundene Energie nur entsprechend der in einer bestimmten Tiefe herrschenden Lichtintensität erfolgt. Ein durchsichtiger See mit geringerem Chlorophyllgehalt kann deshalb produktiver sein als ein See mit geringer Lichtdurchlässigkeit und großen Chlorophyllmengen unter der Flächeneinheit. Zu ähnlichen Ergebnissen kam Gessner (1950) bei der Untersuchung zahlreicher oberbayerischer Seen.

Diese Erkenntnisse können zur Klärung unserer Versuchsergebnisse aus dem Hauptbecken des Klostersees beitragen. Am 13.8.1954 wurden an der 12 m tiefen Untersuchungsstelle 485 mg Chlorophyll unter 1 qm gemessen. Das ist etwa die Hälfte der

im Weßlinger See 1942 zur selben Jahreszeit festgestellten Chlorophyllmenge. Der Ausnutzungswert lag aber im Hauptbecken wesentlich niedriger als aus der Chlorophyllmenge gefolgert werden könnte. Die berechnete Energieausnutzung der drei Versuchstage von durchschnittlich $1,34^{\circ}/_{\infty}$ entsprach derjenigen aus der Herzogsbucht, obwohl dort infolge der geringeren Tiefe nur etwa die halbe Chlorophyllmenge gefunden wurde.

Dieses Mißverhältnis ist darauf zurückzuführen, daß unterhalb der Sprungschicht keine wirksame Assimilation mehr möglich war, da hierzu die im Hypolimnion vorhandenen Lichtmengen nicht mehr ausreichten. Die eigentliche Produktionszone ist im Hauptbecken wie in der Herzogsbucht die etwa 5 m mächtige, gut durchleuchtete Oberschicht. So betrachtet, lassen sich die in der Herzogsbucht gewonnenen Assimilationswerte und Ausnutzungsquoten ohne Bedenken auf den ganzen Klostersee übertragen.

Die jüngsten Untersuchungen über die solare Energieausnutzung wurden von Vollenweider (1956) im Lago Maggiore durchgeführt. Die durch die O_2 -Abscheidung gemessene Kohlenstoffassimilation des Phytoplanktons ergab im Laufe eines Jahres einen Energiegewinn von durchschnittlich 0,23 %. Ein Wert, der eine überraschende Übereinstimmung mit unseren Ergebnissen aus dem Klostersee aufweist.

Z u s a m m e n f a s s u n g

1. Zur Feststellung der Ausnützung der Sonnenenergie durch das Phytoplankton eines eutrophen Sees wurden von 1951 bis 1954 in der Herzogsbucht des Klostersees von Seon/Chiemgau zu verschiedenen Jahreszeiten 24stündige Assimilationsuntersuchungen auf der Grundlage der Sauerstoffbestimmung mittels der Winkler-Methode durchgeführt. Die Produktionsgröße der natürlichen Phytoplanktongesellschaften, die sich auf diese Weise ergab, wurde zu der gesamten, täglich eingestrahlten Sonnenenergie in Beziehung gesetzt, die mit einem Robitsch-Aktinographen gemessen wurde. Als Vergleichsmaßstab für die Planktondichte diente die zur selben Zeit in einem Liter enthaltene Chlorophyllmenge.

2. Die Abhängigkeit der Phytoplanktonassimilation von der Witterung konnte in der unterschiedlichen assimilatorischen Leistung unter $1 \text{ cm}^2/24\text{St.}$ und in der Verlagerung des Assimilationsmaximums verfolgt werden. Die stärkste Assimilationstätigkeit fand an trüben Tagen an der Oberfläche und bei klarem Wetter in 2 m und 4 m Tiefe statt.

3. Während eines Hochsommermonats (August 1951) wurden in der Herzogsbucht an der Untersuchungsstelle 207 g CO_2 unter 1 qm zum Aufbau organischer Substanz verwendet. Der tägliche Energiegewinn betrug dabei im Mittel $2^\circ/100$. Ein Vergleich der Chlorophyllmengen der Herzogsbucht mit jenen des produktiveren Weißlinger Sees zeigte, daß die verhältnismaßig niedrige Ausnützung durch die geringe Planktondichte bedingt war.

4. Das Verhalten des Phytoplanktons in einem abgeschlossenen Wasservolumen wurde geprüft. Aus den Versuchsergebnissen ging hervor, daß die verwendete Flaschengröße von 500 ccm die Assimilation nicht beeinträchtigte. Die Herabsetzung der Assimilationsleistung infolge abgeschwächter oder fehlender Turbulenz betraf nur die Versuchsserie mit Oberflächenwasser. An windigen Tagen mit stärkerer Wellenbewegung wurde in den Flaschen an der Boje bis zu 25 % weniger assimiliert als im freien Wasser. Ein weiterer Assimilationsverlust entstand durch die 24stündige Expositionsdauer. Er betrug im Höchstfall 26 %.

5. Die jahreszeitlichen Veränderungen der Strahlungsverhältnisse, des Stoffumsatzes im See und der Verteilung des Phytoplanktons haben auch jahreszeitliche Unterschiede in der Ausnutzung zur Folge. Für Frühling und Herbst konnte in der Herzogsbucht ein Energiegewinn von $2,85^{\circ}/\text{oo}$ und für den Winter einer von $3^{\circ}/\text{oo}$ ermittelt werden. In den Sommermonaten wurde vom Phytoplankton etwa $2^{\circ}/\text{oo}$ der eingestrahltten Lichtmenge verwertet.

Jährliche Unterschiede in der solaren Energieausnutzung konnten ebenfalls beobachtet werden. 1954 fiel der Energiegewinn um $0,5^{\circ}/\text{oo}$ geringer aus als in den Jahren 1951 und 1952.

6. Im max. 16m tiefen Hauptbecken des Klostersees waren die Produktionsgrößen unter der Flächeneinheit und die Ausnutzungsquoten bei einem ausgeprägten Hypolimnion etwas niedriger als in der nur 6m tiefen Herzogsbucht. Im August 1954 betrug die Ausnutzung der Sonnenenergie im Hauptbecken $1,32^{\circ}/\text{oo}$ und in der Herzogsbucht $1,4^{\circ}/\text{oo}$.

7. Das Nannoplankton war im August 1954 an der Ausnutzung der Sonnenenergie im gleichen Umfang beteiligt wie das Netzplankton.

8. Der Anteil der Bodenflora an der Energieausnutzung pflanzlicher Mikroorganismen wurde erstmals durch die Jahreskurve von *Aphanothece microscopica* zu erfassen versucht. Die Energieverwertung dieser benthalen Alge ist jedoch so gering, daß sie bei der Berechnung der Gesamtenergieausnutzung vernachlässigt werden kann.

L i t e r a t u r

- Atkins, W.R.G., The chemistry of sea water in relation to the productivity of the sea. Sc.Progr.27, 298 (1932a)
- Curtis, a.Juday,C., Photosynthesis of algae in Wisconsin lakes. Int.Rev.d.Hydrobiol. 35, 131 (1937).
- Findenegg,I. ; Die Bedeutung des Nährstoffgehalts der Seen für die Menge und Art des Planktons. "Der Biologe" 11, Heft 5/6 (1942).
- ; Über die Lichtansprüche planktischer Süßwasser-algen. Sitzungsber. der Akad. der Wissenschaften Wien, math.-naturw.Kl.Abt. 1, 155 (1947).
- Garder,T.a.Gran,H.H., Investigations of Production of plankton in the Oslo fjord. Rapp.et P.V.cons.int.Expl. Mer.24 I (1927).
- Gessner,F. ; Der Chlorophyllgehalt der Seen als Ausdruck ihrer Produktivität.Arch.f.Hydrobiol. 46, 687 (1944).
- ; Der Chlorophyllgehalt im See und seine photosyn-thetische Valenz als geophysikalisches Problem. Schweiz.Z.f.Hydrol. 11, 378 (1949).
- ; Das Phytoplankton der Seen Oberbayerns in seiner quantitativen Entfaltung. Ber. der Bayer.Bot.Ges. München,28 (1950).
- Gessner,F.u.Diehl,A., Die Wirkung natürlicher Ultraviolettstrah-lung auf die Chlorophyllzerstörung der Plankton-algen. Arch.f.Mikrobiol. 15, 439 (1951).
- Gessner,F. ; Die Limnologie des Naturschutzgebietes Seeon. Arch.f.Hydrobiol. 47, 553 (1953).
- Gillbricht,M. ; Untersuchungen zur Produktionsbiologie des Plank-tons der Kieler Bucht I. Kiel.Meeresf.8,173 (1952a).
- ; Untersuchungen zur Produktionsbiologie des Plank-tons in der Kieler Bucht II. Kiel.Meeresf. 9,51 (1952b)

- Grimm J. ; Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Int.Rev. der Hydrobiol. 39, 193 (1939).
- ; Zur Klärung einiger produktionsbiologischer Begriffe in der Seekunde. Arch.f.Hydrobiol. 44, 1.14 (1950).
- ; Versuche zur Ermittlung der Produktionskoeffizienten einiger Planktophyten in einem flachen See. Biol.Zentralbl. 69, 147-174 (1950).
- Huber-Pestalozzi, G. , Das Phytoplankton des Süßwassers. Die Binnengewässer, Bd.16, Teil 1 u. 2 (1938).
- Jackson, F.D.a.Mc Fadden, J; Phytoplankton photosynthesis in Sanctuary Lake (Pymatuning reservoir), Ecol. 35 1-4 (1954) nach Ber.ü.d.wiss.Bot. 93, Heft 1/2, 1955.
- Juday, C. ; The annual energy budget of an inland lake. Ecol. 21, 438 (1945).
- Kalle, K. ; Zur Frage der Produktionsleistung des Meeres. Deut.hydrogr.Z. 1, I, (1948).
- Kozminsky, Z. ; Über die Chlorophyllverteilung in einigen Seen in Nordost-Wisconsin (USA). Extrait des Archives d'Hydrobiologie et Ichtyologie T XI Suwalki (1938).
- Manning, W.M., Juday, C.a.Wolf, M., Photosynthesis of aquatic Plants at different depths in Front Lake, Wisconsin. Trans.Wisc.Acad. Vol 31 (1938).
- Manning, W.M.a.Juday, R.E.; The chlorophyllcontent and produktivity of some lakes in northeastern Wisconsin. Trans. Wisc.Acad. Vol 33, 363 (1941).
- Marshall, S.M.a.Orr, A.P.; The relation of the plankton to some chemical and physical factors in the Clyde Sea Area. J.Mar.Biol.Assoc.Plymouth 14, 837 (1927).
- Maucha, R. ; Hydrochemische Methoden in der Limnologie mit besonderer Berücksichtigung der Verfahren von L.W.Winkler. Die Binnengewässer, Bd.12 (1932).
- Ohle, W. ; Die chemische und elektrochemische Bestimmung des molekular gelösten Sauerstoffs der Binnengewässer. Mitt.der Int.Verh. d. Limnologie Nr.3, 1-44 (1953).

- Pütter, A. , Der Umfang der Kohlensäurereduktion durch die Planktonalgen. Pflügers Archiv der ges. Physiologie, 205-293 (1924).
- Ruttner, F. ; Grundriß der Limnologie, 2. Aufl. Berlin (1952).
- Ruttner, F. u. Sauberer, F. , Durchsichtigkeit des Wassers und Plankton-schichtung. Int. Rev. d. Hydrobiolog. 37, 405 (1938)
- ; Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. Probleme der kosmischen Physik XXI.
- Sauberer, F. u. Eckel, O. , Zur Methodik der Strahlungsmessung im Wasser. Int. Rev. d. Hydrobiologie 37, 257 (1938).
- Schomer a. Juday, C. , Photosynthesis of algae at different depths in some Lakes in northeastern Wisconsin. Trans. of Wisc. Acad. Vol 29, 173 (1935).
- Steemann-Nielsen, E; The annual amount of organic matter produced by the phytoplankton in the sound of Helsingör. Medd. Komm. Danmarks Fisk.-og Havunders, Ser. Plankton 3, Nr. 3, 1-37 (1937).
- Steemann-Nielsen, E, The use of radioactive Carbon (C_{14}) for measuring organic production in the sea. J. Const. Int. Expl. Mer. 18, 2 (1954).
- Steemann-Nielsen, E; On organic produktion in the oceans. J. Const. Int. Expl. Mer. 19 (1954).
- Stippenberger, H. ; Das Phytoplankton, im besonderen das Nannoplankton einiger Trabantenseen des Chiemsees. Int. Rev. 22, 129 (1929).
- Thienemann, A. , Zur Klärung einiger wichtiger Begriffe der allgemeinen Ökologie. Arch. f. Hydrobiol. 6/XLI 626-629 (1945).
- Verduin, J. ; Photosynthesis in naturally reared aquatic communities. Plant Physiol. 26, 45-49 (1951), nach Ber. ü. d. wiss. Biol. 74 (1951/52).
- Vollenweider, R. A. , Das Strahlungsklima des Lago Maggiore und seine Bedeutung für die Photosynthese des Phytoplanktons. Mem. Ist. Ita. Idrobiol., 9, 293-362, (1956).
- Weimann, R. ; Hydrobiologische und hydrographische Untersuchungen an 2 teichartigen Gewässern. Beiz. Bot. Centralbl. Bd. 51 (1933).
- Weimann, R. " Chemisch-biologische Untersuchungen an einem Teich. Arch. f. Hydrobiol. Bd. 28, 618 (1935).

L e b e n s l a u f

Am 16. März 1929 wurde ich, Gertrude Bauer, in Staab/Kreis Mies/Böhmen, geboren. In Staab besuchte ich Volks- und Oberschule. Nach der Ausweisung aus der Tschechoslowakei trat ich in die Städt. Oberrealschule Mühldorf/Inn ein, wo ich 1948 das Reifezeugnis erwarb.

An der Phil.-theol. Hochschule Passau widmete ich mich von WS 1948/49 bis SS 1949 und an der Universität München von WS 1949/50 bis 1953/53 dem Studium der Naturwissenschaften.

Im Herbst 1953 legte ich an der Universität München die wissenschaftliche Prüfung für das Lehramt an höheren Schulen (Fächerverbindung : Chemie, Biologie, Erdkunde) ab und wurde am 11.1.1954 dem Pädagogischen Seminar der Gisela-Oberrealschule München zugewiesen. Die Seminarausbildung endete mit dem Schuljahr 1954/55.

Seit 1.9.1955 bin ich als Assessorin an der Städt. Oberrealschule Mühldorf/Inn tätig,

